Institut für Theoretische Physik und Astrophysik
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, Teil IIe

Astronomie und Spektroskopie

Aktuelle Semesterinformationen

Wintersemester 2010/2011

Abgabetermin für die Protokolle: 31. März 2011

Kontakt

Name	Zimmer	Telefon Institut	privat	e-mail
Tobias Illenseer	139	880-5110	0431-2202736	tillense@astrophysik.uni-kiel.de
Ileane V. Hinz	142	880-5111	0178-8046036	ivhinz@astrophysik.uni-kiel.de
Kuppel		880-4124		

Dokument wurde am 10. November 2010 erstellt.

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines **1**
- 1.1 Ablauf und Ziele des Praktikums . . . 1
- 1.2 Prioritätenregelung . . . 2
- 1.3 Sicherheitshinweise . . . 3
- 1.4 Kriterien für die Scheinvergabe . . . 4
- 1.5 Protokoll . . . 4

2 Die Sternwarte **5**
- 2.1 Die Kuppel . . . 5
- 2.2 Montierung . . . 5
- 2.3 Steuergerät und Nachführung . . . 6
- 2.4 Teleskop . . . 7
  - 2.4.1 Wechsel des Fangspiegels . . . 8
- 2.5 Die Einstellhilfe NGC-MAX . . . 9
  - 2.5.1 Einjustierung . . . 9
  - 2.5.2 Die wichtigsten Betriebsmodi . . . 10
  - 2.5.3 Grundeinstellungen . . . 11

3 Die CCD-Kamera **13**
- 3.1 Aufbau und Inbetriebnahme . . . 14
- 3.2 Auffinden und Einstellen von Objekten . . . 15
- 3.3 Das Programm CCDOps . . . 16
  - 3.3.1 Initialisierung . . . 16
  - 3.3.2 Fokussierung . . . 17
  - 3.3.3 Aufnahme von Bildern . . . 18
  - 3.3.4 Bildanalyse und Bildbearbeitung . . . 19
  - 3.3.5 Automatische Nachführung mit dem Tracking CCD . . . 20
  - 3.3.6 Beenden der Beobachtung . . . 21
- 3.4 Spezielle Hinweise . . . 21
  - 3.4.1 Aufnahme von Flatfields . . . 21
  - 3.4.2 Farbaufnahmen . . . 22
  - 3.4.3 Planetenaufnahmen . . . 23
  - 3.4.4 Automatischer Aufnahmemodus . . . 24

4 Spektroskopie **25**
- 4.1 Der SBIG Stellar Spectrograph . . . 26
- 4.2 Aufbau des Spektrographen . . . 27
- 4.3 Einstellung des Spektrographen . . . 28
- 4.4 Aufnahme von Sternspektren . . . 29
  - 4.4.1 Auffinden und Einstellen des Sterns . . . 29
  - 4.4.2 Aufnahme des Sternspektrums . . . 30

4.4.3 Kalibrationsaufnahmen 30

5 Datenverarbeitung **35**
5.1 Einführung in UNIX 35
5.2 Datenübertragung auf den Praktikums-PC 37
5.3 MIDAS 37
5.3.1 Grundlegende MIDAS-Syntax 38
5.3.2 Wichtige Befehle und Datenstrukturen 40
5.3.3 Photometrie 41
5.3.4 Spektroskopie 44

6 Aufgaben **51**
6.1 Übersicht 51
6.2 Versuchsbeschreibungen 52

A Häufige Fehler **65**

B Spezielle Beobachtungsmethoden **67**
B.1 Manuelle Nachführung mit Hilfe des Leitfernrohrs 67

C Literatur **69**

Kapitel 1

Allgemeines

1.1 Ablauf und Ziele des Praktikums

Unser Wissen über das Weltall stammt nahezu ausschließlich aus der Beobachtung der elektromagnetischen Strahlung, die von den Himmelsobjekten zu uns gelangt, sowie der Interpretation der Beobachtungen durch theoretische Konzepte und Modelle. Die astronomische Beobachtung ist daher eine fundamentale Arbeitsmethode der Astrophysiker.
Die aus dem Weltall kommende Strahlung wird zunächst von einem Kollektor (Teleskop) gesammelt und fokussiert, dann von einem Analysator (Filter, Spektrograph, Polarisator) einer Selektion unterzogen bevor sie von einem Detektor (Auge, Photoplatte, CCD) registriert wird. Prinzipiell messbar sind Ort bzw. Richtung der Strahlung (Astrometrie), der Strahlungsstrom (Photometrie) und die spektrale Zusammensetzung der Strahlung (Spektroskopie) sowie die jeweilige zeitliche Variation dieser Messgrößen. Im Laufe der historischen und technischen Entwicklung haben diese verschiedenen Zweige der astronomischen Beobachtung ihre jeweiligen Besonderheiten hervorgebracht.

Ziel des Astronomischen Praktikums ist es, die wesentlichen astronomischen Beobachtungsmethoden in der Praxis kennenzulernen. Hierzu steht die Übungssternwarte des Instituts für Theoretische Physik und Astrophysik mit einem 25 cm Spiegelteleskop zur Verfügung. Neben rein visuellen Beobachtungen lassen sich auch Erfahrungen im Umgang mit der elektronischen Datenerfassung mit Hilfe einer CCD-Kamera sammeln.
Die Technik der Helligkeitsmessung (Photometrie) wird am Beispiel des Farben-Helligkeits-Diagramms eines offenen Sternhaufens demonstriert. Für die Aufnahme von Sternspektren wird ein kleiner Gitterspektrograph in Verbindung mit der CCD-Kamera verwendet. Zur Durchführung einer quantitativen Spektralanalyse muss hingegen auf ein auswärts gewonnenes Sternspektrum zurückgegriffen werden.
Die Beobachtungen werden in Gruppen zu jeweils 2 bis 3 Teilnehmern in der Übungssternwarte durchgeführt. Die Auswertung der Beobachtungen findet auf den Rechnern des Instituts statt. Nach einer gründlichen Einweisung in das Instrumentarium machen sich die Praktikanten zunächst mit der Handhabung des Teleskops, der CCD-Kamera und des Spektrographen vertraut, bevor selbständig Himmelsaufnahmen durchgeführt werden. Um die nicht sehr zahlreichen klaren Nächte in Kiel optimal zu nutzen, wird zwischen den Gruppen eine Prioritätenreihenfolge vereinbart, die in der Regel wöchentlich wechselt (näheres siehe Kapitel 1.2).

Vor der Durchführung selbständiger Beobachtungen sind für jede Gruppe vier Einweisungen durch die Betreuer des Praktikums erforderlich.

1. Benutzung von Sternwarte, Teleskop und NGC-Max
2. Umgang mit der CCD-Kamera
3. Installation und Einsatz der CCD-Kamera am Teleskop
4. Verwendung der CCD-Kamera am Spektrographen

Mit Ausnahme von Punkt (2.) finden alle Einführungen auf der Sternwarte statt. Es liegt in der Verantwortung der Praktikanten, sich bei absehbar klarem Wetter mit den Betreuern in Verbindung zu setzen und einen Termin zu vereinbaren. Dabei sollte beachtet werden, dass eine Einführung nur dann gegeben wird, wenn der vorherige Beobachtungsteil bereits abgeschlossen wurde. Da die Zahl der klaren Nächte in Kiel begrenzt ist, sollte möglichst jede klare Nacht genutzt werden. Häufig ist die Zahl der klaren Nächte während der Vorlesungszeit nicht ausreichend, daher können (meist sogar müssen) Beobachtungen auch in der vorlesungsfreien Zeit bis zum Beginn der Vorlesungszeit des nächsten Semesters durchgeführt werden. **Das heißt auch, dass der Praktikumsschein normalerweise nicht mit Ende der Vorlesungszeit erhältlich ist!**
Allgemeine Informationen zum Praktikum sowie einige nützliche Weblinks finden sich auch auf der Homepage des *Instituts für Theoretische Physik und Astrophysik* unter

http://www.astrophysik.uni-kiel.de

1.2 Prioritätenregelung

Die Gruppe mit der höchsten Priorität (siehe Kalender) ist verpflichtet, dafür zu sorgen, dass jede klare Nacht zum Beobachten genutzt wird. Dabei spielt es keine Rolle, ob die Nacht von der Gruppe selbst in Anspruch genommen wird, oder die Gruppe ihre Priorität weitergibt. Um die Planung einer Beobachtungsnacht zu erleichtern gilt der folgende verbindliche Ablaufplan für die Gruppe mit der höchsten Priorität.

- Gutes Beobachtungswetter? (direkte Beobachtung, Wetterdienste)

  nein bis 18:00 im Kalender vermerken, dass keine Beobachtung stattfindet

  ja Gruppenmitglieder kontaktieren

- Gruppe verfügbar? (mindestens zwei, max. ein Gruppenmitglied darf fehlen)

  ja bis 18:00 im Kalender zusagen;
  falls eine Einführung benötigt wird bis 18:00 beim HiWi melden
  (bei einer Einführung müssen alle Gruppenmitglieder da sein)

  nein bis 18:00 Absage im Kalender

  1. Gruppensprecher der Gruppe mit nächst niedrigerer Priorität telefonisch informieren
  2. falls selbst Gruppe niedrigster Priorität, zusätzlich zum Eintrag in den Kalender:
     - E-mail an den Verteiler
     - Anruf beim HiWi

1.3 Sicherheitshinweise

1. Allgemein

- Niemals Gewalt anwenden!
- Achtung Dunkelheit! Nicht den Kopf stoßen, nicht von der Leiter fallen, gut festhalten, nicht über Kabel stolpern!
- Im Zweifelsfalle: Betreuer fragen! Bei Sicherheitsproblemen und Dingen, die für sehr wichtig gehalten werden, zur Not auch nachts anrufen.

2. Betreten und Verlassen der Sternwarte

- Außentür beim Öffnen immer gut festhalten!
- Nicht über das Geländer klettern und auf dem Dach herumlaufen! (Stolpergefahr wegen nichtbeleuchteter Blitzableiter)
- Checkliste auf Kuppelinnentür beachten! (Nachführung aus; δ-Spindel mittig; Teleskop fest, in Zenitlage und abgedeckt; Kuppel zu und in „Default“-Stellung; Logbuch-Eintrag)

3. Teleskop

- Teleskopöffnungen stets abdecken, wenn Kuppelspalt geöffnet oder geschlossen wird!
- Teleskop stets festhalten, wenn die Klemmungen gelöst werden!
- Bei der Kuppeldrehung darauf achten, dass sich das Kabel für den Spaltantrieb nicht um das Teleskop verheddert!
- Sternzeit nie verstellen! Bei Verdacht auf falsche Einstellung Eintrag ins Logbuch und Betreuer informieren.
- Darauf achten, dass die δ-Spindel sich nicht zu weit aus der Mittenlage entfernt!
- Klemmungen nicht zu fest anziehen (gerade das Handrad kann sehr schwer zu lösen sein, wenn es vorher zu fest angezogen wurde)!
- Bei Sonnenbeobachtung: Auf festen Sitz des Sonnenfilters achten! Leitrohr und Sucherfernrohr müssen abgedeckt sein. Das Hauptrohr darf zur Projektion des Sonnenbildes (ohne Objektivfilter) nicht verwendet werden.

4. CCD-Kamera

- CCD-Kamera stets fest in die richtige Okularsteckhülse klemmen (aber nicht die Klemmschraube überfordern)!
- Niemals das Verbindungskabel CCD-Kamera–Netzgerät im Betrieb unterbrechen!
- Nach der Beobachtung das CCD kontrolliert wieder aufwärmen lassen; Stromversorgung mindestens 1 Minute nach Deaktivierung der Kühlung aufrechterhalten! Bei höheren Außentemperaturen ist das CCD zu Beginn der Beobachtung auch nur schrittweise herabzukühlen.

1.4 Kriterien für die Scheinvergabe

Zur Erlangung des Praktikumsscheins sollten die folgenden Aufgaben erfolgreich absolviert und im Protokoll dokumentiert sein:

- die Durchführung der visuellen Beobachtungen (Aufsuchen von Objekten, Bestimmung des Gesichtsfeldes und Abschätzung des Auflösungsvermögens.)
- der Trockenversuch „Messungen an der CCD–Kamera“ (Ausleserauschen, Linearität und Dunkelstrom)
- mindestens eine langbelichtete Himmelsaufnahme mit der CCD Kamera eines Objektes ausserhalb des Sonnensystems, wenn es geht, auch mit Farbfiltern
- die photometrische Aufgabe (Farben-Helligkeits-Diagramm eines Sternhaufens)
- die Aufnahme einer Reihe von Sternspektren in hoher und niedriger Dispersion
- der „Trockenversuch“ Spektralanalyse des Sternes BD+33°2642
- (nur wenn genügend klare Nächte vorhanden sind) eine hochaufgelöste Planeten- oder Mondaufnahme (im Cassegrainfokus oder in Okularprojektion)

1.5 Protokoll

Das Protokoll zu jedem Versuch sollte unbedingt enthalten:

- Bei allen Beobachtungen, Messungen und Aufnahmen sollten die Sichtverhältnisse (Seeing, Höhe über Horizont etc.) vermerkt werden und gegebenenfalls bei der Auswertung berücksichtigt werden.
- Den Zeitpunkt der Messungen und die Beobachtungsbedingungen
- Die Daten, Grafiken oder Bilder (ggf. Angabe des Pfadnamens, wo im Praktikumsverzeichnis die Bilder zu finden sind)
- Eine Erklärung, um was für Messdaten es sich handelt (dabei müssen keine Kapitel aus Büchern abgeschrieben werden – kurz und knapp, aber präzise reicht), wie diese gewonnen wurden und eine Beschreibung der Parameter, die in die Messung eingehen
- Eine Interpretation der Ergebnisse (dies ist der wichtigste Teil!). Dazu gehört, wo dies möglich ist, eine Fehlerabschätzung (beim Versuch „BD+33°2642“ z.B. durch Grafiken, die die Atmosphärenparameter eingrenzen) und ein Vergleich mit theoretischen Werten.
- Bei der Darstellung der „Bilder“ sollte beschrieben werden, wie man von den Rohdaten zum fertigen Bild gelangt ist (z.B. Flatfieldkorrektur, setzen der „Cuts“, lineare oder logarithmische Darstellung, unscharfe Maskierung usw.).

Kapitel 2

Die Sternwarte

2.1 Die Kuppel

Man öffnet und schließt den Kuppelspalt durch Betätigen des entsprechenden Handschalters. Die Kuppel wird mit dem zweiten Schalter in azimutaler Richtung gedreht. Beide Vorrichtungen haben in der Endstellung eine Abschaltautomatik für die Antriebsmotoren. Für Beobachtungen nahe dem Zenit muss man zunächst bei geschlossenem Kuppelspalt den Haken, mit dem der untere Teil der Spaltabdeckung befestigt ist, aushängen und gleichzeitig den Kuppelspalt öffnen. **Bei jedem Öffnen und Schließen des Spaltes muss das Teleskop abgedeckt sein**. Bei der Kuppeldrehung ist darauf zu achten, dass sich das Kabel zum Elektromotor des Kuppelspalts nicht um das Teleskop verheddert. Gibt es Probleme beim Schließen des Kuppelspalts (z. B. Stromausfall), so besteht die Möglichkeit den Spalt manuell mit Hilfe einer Kurbelwelle zu schließen. Keinesfalls darf der Spalt nach der Beobachtung offen gelassen werden!

2.2 Montierung

Die Montierung hat die Aufgabe, das Teleskop auf ein Himmelsobjekt auszurichten und der täglichen Himmelsbewegung nachzuführen. Das Teleskop der Übungssternwarte ist auf einer sogenannten *Deutschen Montierung* gelagert, einer unsymmetrischen Bauart, die zum Ausgleich ein Gegengewicht erfordert. Die Montierung sollte stets justiert sein. Eigenmächtige Veränderungen sind zu unterlassen.
Auf dem schweren Rundfuß-Säulenstativ ruht der Polkopf mit Stundenachsengehäuse (siehe Abb. 2.1). Die geschliffene Stundenachse läuft vollkommen spielfrei in zwei vorgespannten Präzisionskegelrollenlagern. In einem geschlossenen Gehäuse am unteren Ende der Stundenachse ist der Schneckenradantrieb untergebracht. Der Antrieb erfolgt über einen Schrittmotor, der fest an die Schneckenwelle angeflanscht ist. Die axial spielfrei laufende Schnecke treibt ein großes Schneckenrad an, welches die Stundenachse bewegt. Das Festklemmen der Stundenachse erfolgt über ein Handrad, das auf eine Rutschkupplung wirkt. **Das Handrad sollte nur ausreichend und nicht mit aller Kraft festgestellt werden, da es sich sonst möglicherweise nur sehr schwer wieder lösen lässt.**
Die Deklinationsachse ist senkrecht am oberen Ende der Studenachse angebracht und besitzt eine Schwalbenschwanzführung zur Aufnahme des Teleskopes. Die Grob- und Feinbewegung der Deklination wird über einen präzise gefrästen Trapezgewindespindeltrieb vorgenommen. Auch hier ist ein Schrittmotor fest mit der Spindel verbunden. Die Tangentialklemmung an der Deklinationsachse wirkt ebenfalls als Rutschkupplung.
Die grobe Ausrichtung des Teleskops wird von Hand vorgenommen. Dabei löst man das Handrad und die Tangentialklemmung, so dass sich das Teleskop frei schwenken lässt. Hat

man die gewünschte Position etwa angepeilt, werden beide Achsen ausreichend festgestellt. Bei der Bewegung in Deklinationsrichtung ist zu beachten, dass die Klemmvorrichtung soweit angezogen ist, dass das Teleskop in jeder Position einwandfrei feststeht. Ist die Klemme der Deklinationsachse festgezogen, darf das Teleskop nicht mehr von Hand bewegt werden. Ein vollständiges Feststellen der Kupplung an der Stundenachse ist nicht möglich. Dies würde zu Schäden an der Schneckenwelle führen.
Die Feinjustage des Teleskops wird mittels eines Handtasters vorgenommen, mit dem sich die Schrittmotoren direkt ansteuern lassen. Auf dem Handtaster befinden sich je zwei Druckknöpfe für die Stundenachse (grün) und die Deklinationsachse (rot). Ferner kann mit Hilfe des Drehschalters die Geschwindigkeit reguliert werden. Es sind folgende vier Geschwindigkeitsstufen möglich (von links nach rechts)

1. Pointierbewegung
2. sehr langsam (1'/s)
3. langsam (3'/s)
4. schnell (8'/s)

Bei längerer Deklinationsbewegung in einer Richtung ist darauf zu achten, dass der Tangentialarm nicht das Ende der Spindel erreicht. Es sollte daher hin und wieder kontrolliert werden, ob die Spindel der Deklinationsachse etwa mittig sitzt. Insbesondere sollte dies beim Verlassen der Kuppel der Fall sein.

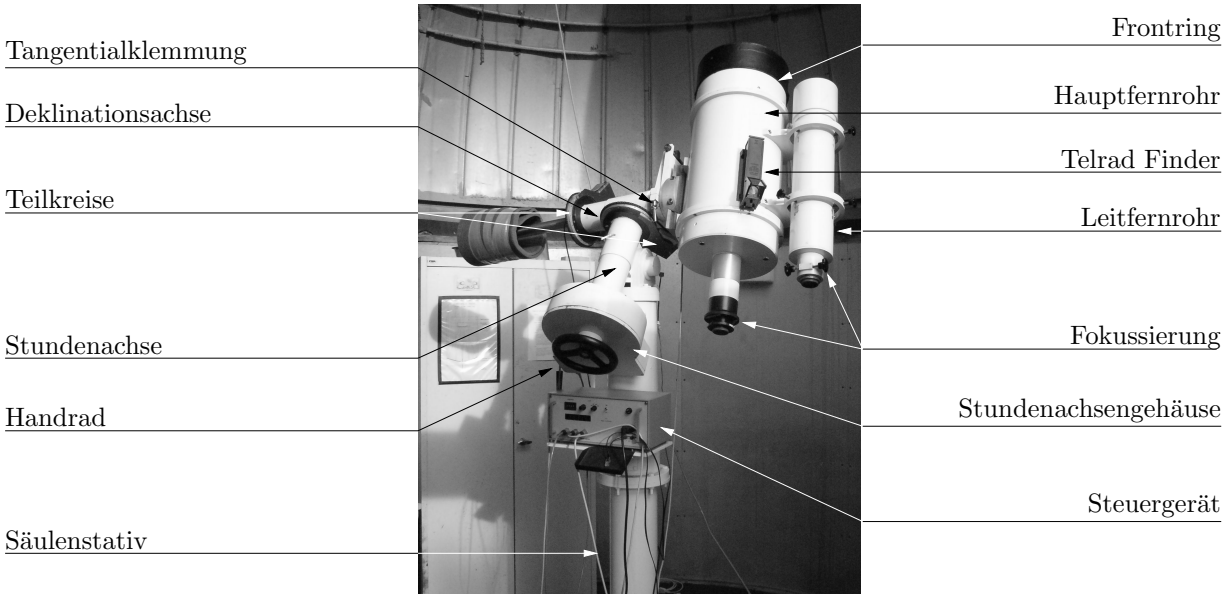

Abbildung 2.1: Montierung und Teleskop

2.3 Steuergerät und Nachführung

Unterhalb des Handrads befindet sich das Steuergerät für die Schrittmotoren. Von hier führen Kabel zum Handtaster und zum Stundenachsengehäuse. Neben der manuellen Bewegung beider Achsen der Montierung gibt es für die Stundenachse auch noch eine automatische Nachführung, um die scheinbare Rotation des Himmels zu kompensieren.

Mit dem Einschalten des Steuergerätes am Schalter ON/OFF beginnt die Montierung mit der Nachführbewegung sofern das Handrad festgezogen und damit die Stundenachse eingekuppelt ist. Die Nachführung wird über einen Präzisionsquarz mit extrem kleinem Temperaturgang gesteuert. Am Steuergerät kann die Nachführgeschwindigkeit an einem Kodierschalter frei eingestellt werden. Für die Nachführung der täglichen Himmelsdrehung beträgt der Wert 4445. Man beachte, dass höhere Kodierzahlen eine geringere Nachführgeschwindigkeit bedeuten. Somit sind höhere Werte für Sonne und Mond einzugeben.
Eine in das Steuergerät eingebaute digitale Sternzeit-Quarzuhr diente früher dazu, aus der Rektaszension den Stundenwinkel zu berechnen. Diese Aufgabe übernimmt heute die automatische Einstellhilfe *NGC-MAX* (näheres siehe Kap. 2.5). Auch wenn sie derzeit keine große Rolle mehr spielt, ist das Verstellen der Sternzeituhr zu unterlassen. Im ausgeschalteten Zustand soll die Sternzeituhr weiterlaufen, daher keinesfalls den Netzstecker des Steuergeräts aus der Steckdose ziehen! Nach einem Stromausfall muss die Uhr von den Betreuern neu gestellt werden.
Die Nachführung würde das Teleskop im Laufe eines Tages um volle 360 ° drehen. Aufgrund der Montierung stößt das Teleskop allerdings früher oder später am Stativ an und blockiert. Das kann zu schweren Schäden an Montierung und Teleskop führen. **Es ist daher unbedingt darauf zu achten, dass die Nachführung nach dem Ende der Beobachtung abgeschaltet wird.**

2.4 Teleskop

Das Teleskop besteht aus einem Reflektor mit einem Hauptspiegel von 250 mm Durchmesser und einem Refraktor mit 110 mm Öffnung und 600 mm Brennweite, der als Leitfernrohr dient (siehe Abb. 2.1). Durch Wechsel des Frontrings samt Fangspiegelhalterung kann das Hauptfernrohr wahlweise im Ritchey-Chrétien- (RC) oder Cassegrain-Fokus mit Brennweiten von $f = 2000$ mm bzw. $f = 3750$ mm betrieben werden. Der RC-Fokus bietet eine komafreie Abbildung und wird daher hauptsächlich bei Sternfeldaufnahmen und zur Spektroskopie verwendet. Im Cassegrain-Fokus erreicht man aufgrund der höheren Brennweite stärkere Vergrößerungen, weshalb er sich gut für Mond- und Planetenaufnahmen eignet.
Auf dem Hauptfernrohr befindet sich außerdem die Halterung für den *Telrad Finder*, der im Metallschrank aufbewahrt wird. Er wird von Hand in die Halterung geschraubt und dann an dem seitlich angebrachten kleinen Drehknopf – der gleichzeitig als Dimmer dient – angeschaltet. Schaut man nun im richtigen Winkel durch die Frontscheibe, sieht man eine Zielscheibe aus konzentrischen roten Ringen, mit der sich hellere Sterne anvisieren lassen. Der Telradfinder ist batteriebetrieben und sollte nach Beendigung der Beobachtungsnacht ausgeschaltet zurück in den Schrank gelegt werden.
Zur Inbetriebnahme des Teleskops sind an beiden Fernrohren die Objektivdeckel von den Eintrittsöffnungen zu entfernen. Dies sollte erst geschehen nachdem der Kuppelspalt vollständig geöffnet wurde. Okularseitig schraubt man die Messingdeckel von den Halterungen und ersetzt sie durch die Okularsteckhülsen. Für visuelle Beobachtungen stehen eine Reihe von Okularen zur Verfügung, die für beide Fernrohre gleichermaßen verwendet werden können (siehe Tab. 2.1). Sie werden in die Okularsteckhülsen gesteckt und mit einer kleinen Schraube an der Seite fixiert. Am Ende der Beobachtungsnacht sind beide Fernrohre wieder mit den Objektivdeckeln und den Messingkappen zu versehen. **Das Teleskop ist in die Zenitposition zu bringen, um den Hauptspiegel zu entlasten.**
Zur Fokussierung besitzt das Leitfernrohr eine Handschraube an der Austrittsöffnung mit der man die Lage der Okularsteckhülse und damit die des Okulars verändern kann. Beim Hauptfernrohr hat man die Möglichkeit einer groben Fokussierung mit dem Rändelrad der Fangspiegelhalterung am Frontring. Die feine Fokussierung erfolgt ähnlich wie beim Leitfernrohr

an der Austrittsöffnung. Hier ist beim Hauptfernrohr eine Mikrometerschraube angebracht, die es erlaubt, Fokuseinstellungen zu reproduzieren.
Das Leitfernrohr steckt seitlich am Hauptfernrohr in zwei Halterungen, in denen es mit jeweils drei Schrauben fixiert ist. Zu Beginn jeder Beobachtungsnacht sollte überprüft werden, ob das Leitfernrohr parallel zum Hauptfernrohr ausgerichtet ist. Dazu peilt man mit Hilfe des Telrad Finders einen hellen Stern an und versucht diesen im Hauptfernrohr mittig einzustellen. Es bietet sich an, zunächst ein Okular mit hoher Brennweite zu benutzen, damit das Gesichtsfeld möglichst groß ist und dann auf das Fadenkreuzokular (f = 12,5 mm) zu wechseln. Das Fadenkreuz kann mit Hilfe einer kleinen Taschenlampe, die man an das seitlich angebrachte Loch hält, sichbar gemacht werden. Bei paralleler Ausrichtung beider Fernrohre sollte der Stern nun auch im Leitfernrohr mittig stehen. Andernfalls lässt sich die Stellung des Leitfernrohrs mit Hilfe der sechs Halteschrauben korrigieren. **Die Schrauben niemals so weit lösen, dass das Leitfernrohr aus den Halterungen rutscht**.

Hauptspiegel mit RC-Fokus f=2000 mm		
Okular	Vergrößerung	Austrittspupille
42 mm	48	5.21 mm
25 mm	80	3.31 mm
20 mm	100	2.50 mm
15 mm	133	1.88 mm
9.5 mm	211	1.19 mm
Hauptspiegel mit Cassegrain-Fokus f=3750 mm		
Okular	Vergrößerung	Austrittspupille
42 mm	89	2.81 mm
25 mm	150	1.67 mm
20 mm	188	1.33 mm
15 mm	250	1.00 mm
9.5 mm	395	0.63 mm
Leitrohr f=600 mm		
Okular	Vergrößerung	Austrittspupille
42 mm	14	7.86 mm
25 mm	24	4.58 mm
20 mm	30	3.67 mm
15 mm	40	2.75 mm
9.5 mm	63	1.74 mm

Tabelle 2.1: Vergrößerung und Austrittspupille bei Verwendung verschiedener Okulare

2.4.1 Wechsel des Fangspiegels

Der Fangspiegel (oder auch Sekundärspiegel) sitzt im Frontring oben auf der Eintrittsöffnung des Teleskops. Für beide Betriebsarten des Teleskops gibt es je einen Frontring, der komplett ausgetauscht werden kann. Dazu geht man wie folgt vor:

1. Teleskop in Zenitposition fahren und festklemmen.

2. Die vier Hutmuttern, mit denen der Frontring am Hauptrohr befestigt ist, lösen.

3. Frontring vorsichtig abnehmen.

4. Den Fangspiegelschutzdeckel vom anderen Fangspiegel entfernen.
5. Den anderen Frontring aufsetzen; Markierungen an Rohr und Ring beachten!
6. Die vier Hutmuttern leicht festziehen.
7. Fangspiegel des ausgebauten Frontrings mit Schutzdeckel versehen.
8. Den ausgebauten Frontring so lagern, dass er nicht auf dem Fangspiegel ruht.

Die eingebaute Streulichtblende ist für den RC-Fokus berechnet und verringert die ,,Tagblindheit". Beim Wechsel auf den Cassegrain-Fokus kann die beiliegende Zusatzblende auf das Blendrohr aufgesteckt werden. Sie verursacht einen geringen Lichtverlust, was jedoch bei Sonnen- oder Tagesbeobachtungen nicht so ins Gewicht fällt. Bei Nachtbeobachtungen ist das Streulicht so gering, dass diese Zusatzblende ohne Einbuße an Kontrast weggelassen werden kann. **Außer den vier Hutmuttern zur Befestigung dürfen keine weiteren Schrauben am Frontring gelöst oder entfernt werden.** Insbesondere dürfen die Fangspiegelhalterungen nicht verändert werden, da sonst die Justierung der Fangspiegel verloren geht.

2.5 Die Einstellhilfe NGC-MAX

Der NGC-MAX ist ein Mini-Computer, der die exakte Positionierung des Teleskops erleichtert. Er wird über ein Datenkabel mit den Teilkreisen an beiden Teleskopachsen verbunden (siehe Abb. 2.1). Dort befinden sich optische Abtaster (Encoder), die eine Winkelmessung mit einer Genauigkeit von etwa einer Bogenminute ermöglichen. Außerdem verfügt der NGC-MAX über eine interne Datenbank mit den Koordinaten von über 12 000 Himmelsobjekten.

Der NGC-MAX wird im Schrank für die Praktikumsgeräte in Raum LS15-158 gelagert. Die Installation am Teleskop erfolgt, indem man das Datenkabel von den Teilkreisen in die dafür vorgesehene Buchse am NGC-MAX steckt und ihn an die Stromversorgung anschließt. Dann schaltet man das Gerät ein und wartet die Initialisierung ab. Bei richtiger Einstellung des NGC-MAX erscheint die Zeile „MODE ALIGN STAR“ im Display. Mit Hilfe der UP/DOWN-Tasten (siehe Abb. 2.2) kann man durch die verschiedenen Betriebsmodi blättern. Drückt man die ENTER-Taste wird der angezeigte Modus ausgewählt und man wird unter Umständen aufgefordert Daten einzugeben. Dies geschieht ebenfalls mit den UP/DOWN-Tasten. Die Eingabe wird durch nochmaliges Drücken der ENTER-Taste beendet. Mit der MODE-Taste gelangt man in die Auswahl der Betriebsmodi zurück.

2.5.1 Einjustierung

Zu Beginn jeder Beobachtungsnacht muss die Ausrichtung des Teleskops mit Hilfe eines Eichsterns dem NGC-MAX bekannt gemacht werden. Dazu stellt man die Montierung so ein, dass das Teleskop auf der linken Seite hängt, wenn man vor der Bedientafel des Steuergeräts steht. Diese Ausrichtung ist für die Einjustierung von entscheidender Bedeutung, weil es bei der deutschen Montierung im Prinzip möglich ist, den selben Stern auf zwei unterschiedliche Arten anzupeilen. Aktivieren Sie nun am NGC-MAX den Betriebsmodus MODE ALIGN STAR. Mit Hilfe der UP/DOWN-Tasten können Sie durch die Liste der möglichen Eichsterne blättern. Wählen Sie einen Stern östlich des Meridians, fahren Sie ihn mit dem Teleskop an und stellen Sie ihn im Hauptfernrohr möglichst mittig ein. Benutzen Sie dafür das Fadenkreuzokular. Je sorgfältiger Sie hierbei sind, desto leichter wird später das Auffinden von Objekten mit Hilfe des NGC-MAX. Achten Sie darauf, dass das Teleskop nicht zu schnell bewegt wird, da die Encoder sonst die Positionsinformation verlieren

Abbildung 2.2: Bedienfeld des NGC-MAX

können. In diesem Fall erscheint eine Fehlermeldung und die Einjustierung muss wiederholt werden. Drücken Sie die ENTER-Taste, wenn alles in Ordnung ist. Bei richtiger Einstellung des NGC-MAX erscheint kurz die Zeile „WRAP=0“ im Display. Achtung! Falls der NGC-MAX fälschlicherweise auf die Montierung GQ (german equatorial) statt GP (german perfect) eingestellt ist (siehe Kap. 2.5.3), erwartet er einen zweiten Eichstern zur Kalibration.

2.5.2 Die wichtigsten Betriebsmodi

Nach erfolgreicher Einjustierung ist der NGC-MAX in der Lage, die Ausrichtung des Teleskops mit den ihr entsprechenden Himmelskoordinaten Rektaszension (RA) und Deklination (DEC) zu verknüpfen. Die in der internen Datenbank gespeicherten Katalogdaten ermöglichen dann eine Zuordnung zu bestimmten Himmelsobjekten. Alle im NGC-MAX gespeicherten Positionen beziehen sich dabei auf die Epoche J2000.0. Die folgende Liste erläutert die wichtigsten Betriebsmodi:

MODE RA DEC
Dieser Modus dient der Anzeige der aktuellen Himmelskoordinaten.

MODE CATALOG
In diesem Modus können Sie aus einer Liste von Katalogen ein Objekt auswählen, auf das Sie dann z. B. das Teleskop ausrichten. Mit den UP/DOWN-Tasten wechseln Sie zwischen den verschiedenen Listen und mit der ENTER-Taste wählen Sie eine dieser Listen aus. Dann können Sie – wiederum mit den UP/DOWN-Tasten – die Nummer eines bestimmten Objekts der jeweiligen Liste angeben und mit ENTER die Eingabe bestätigen. Das Display zeigt dann Rektaszension und Deklination des ausgwählten Objekts an. Nochmaliges Drücken der ENTER-Taste liefert zusätzliche Informationen.

Im NGC-MAX sind die Daten von 951 Sternen (ST) sowie von 367 nicht-stellaren Objekten (NS) (siehe Listen im Metallschrank), die Messier- (M), NGC- und IC-Kataloge und die Ephemeriden der Planeten des Sonnensystems (PL) gespeichert. Um die Himmelskoordinaten der Planeten aus den Ephemeriden berechnen zu können, benötigt der NGC-MAX das aktuelle Datum. Achten Sie hierbei auf die amerikanische Art der Datumsdarstellung in der Reihenfolge Monat-Tag-Jahr (MM-DD-YYYY).

MODE GUIDE

Dieser Modus hilft Ihnen dabei ein zuvor mit MODE CATALOG ausgewähltes Objekt mit dem Teleskop anzusteuern. Ist dieser Modus mit ENTER aktiviert worden erscheint im Display eine Gruppe von Zahlen und Symbolen, z. B. M001 58 ← 79 ↑. Das Kürzel ganz links bezeichnet das anzusteuernde Objekt und die beiden Zahlen geben an, um wieviel Grad die gegenwärtige von der gesuchten Ausrichtung des Teleskops abweicht. Wenn Sie das Teleskop entlang der Stundenachse drehen, ändert sich die erste Zahl und entsprechend bei der Deklinationsachse die zweite Zahl. Die Pfeile sagen Ihnen, in welche Richtung sie drehen müssen. Um das Teleskop auf das entsprechende Objekt auszurichten müssen Sie die beiden Zahlen zu null bringen. Haben Sie sich bis auf 10 ° der Objektposition genähert springt die Anzeige im Display auf eine genauere Darstellung um (z. B. 9 ∧ 5 für 9,5 °). Die Symbole ∧ und ∨ zeigen dabei wieder die Richtung an, in der Sie sich auf die null zubewegen. Exakt auf das Objekt ausgerichtet ist das Teleskop, wenn in der Anzeige hinter dem Objektkürzel die Symbolfolge „0∘0 0∘0“ erscheint.

MODE IDENTIFY

In diesem Modus kann der NGC-MAX die Kataloge nach dem Objekt durchsuchen, das bei der gegenwärtigen Ausrichtung des Teleskops zu sehen sein müsste. Man wählt zunächst einen Katalog aus, in dem NGC-MAX suchen soll (z. B. ST - Sterne, R* - Rote Sterne, ** - Doppelsterne, OC - offene Sternhaufen, GC - Kugelsternhaufen, GX - Galaxien, NB - Nebel, PN - Planetarische Nebel). Danach kann man eine Grenzhelligkeit angeben, um diejenigen Objekte auszusortieren, die von ihrer scheinbaren Helligkeit her von vornherein nicht in Frage kommen. Nach dem Drücken der ENTER-Taste zeigt NGC-MAX das Objekt an, das der aktuellen Position am nächsten ist und gleichzeitig die eingegebenen Bedingungen erfüllt. Erfüllt keines der gespeicherten Objekte diese Bedingungen, wird das erste Objekt im jeweiligen Katalog angezeigt (z. B. FOUND M001).

Eine ausführlichere Anleitung für den NGC-MAX, in der auch die anderen Betriebsmodi und deren Anwendung beschrieben werden, liegt im Metallschrank in der Sternwarte.

2.5.3 Grundeinstellungen

Hier sollte normalerweise nichts verändert werden. Nur bei Verdacht einer fehlerhaften Konfiguration des NGC-MAX sollten die Einstellungen übergeprüft und gegebenenfalls zurückgestellt werden. Die Standardeinstellung lauten:

SCOPE GP, SCROLL 5, CHART SA, AZ -16000, AL +16000

Alternativ kann für die Montierung statt GP (german perfect, d. h. eingenordete deutsche Montierung) auch GQ (german equatorial, d. h. nicht perfekt genordete deutsche Montierung) gewählt werden. In diesem Fall muss die Kalibrierung des Teleskops allerdings mit *zwei* Eichsternen durchgeführt werden.

Kapitel 3

Die CCD-Kamera

Der grundlegende Aufbau der im Praktikum verwendeten CCD-Kamera (engl. Abk. für „Charged Coupled Device“) ist dem einer handelsüblichen digitalen Kamera sehr ähnlich. Zentraler Bestandteil ist ein lichtempfindlicher Halbleiterchip (CCD-Fotosensor), der in einer zweidimensionalen Matrix von Bildelementen (Pixel) den Strahlungsstrom bzw. die Beleuchtungsstärke verbunden mit einer Ortsinformation in elektrische Signale umsetzen kann. Diese werden dann von einem A/D-Wandler in digitale Signale umgewandelt, die ein tragbarer PC ausliest und speichert. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Digitalkamera besitzt die Praktikumskamera keine integrierte Optik. Statt dessen wird der CCD-Chip direkt aus dem Teleskop belichtet, um ein möglichst unverfälschtes Bild der vom Teleskop eingefangenen Photonen zu liefern.
Ein weiterer wichtiger Unterschied ist, dass die im Praktikum verwendete CCD-Kamera ein Präzisionsmessinstrument darstellt. Das heißt, die von ihr gemessenen Intensitäten lassen sehr genaue Schlussfolgerungen über die am Himmel beobachteten Objekte zu. Um dies zu erreichen, besitzt die Kamera eine aktive Kühlung basierend auf einem Peltier-Element. Sie erlaubt es den sog. Dunkelstrom, der zum Teil durch thermische Anregung von Elektronen im Halbleitermaterial des CCD-Sensors hervorgerufen wird, auf ein Minimum zu reduzieren. Ferner ist die Anzahl der im Halbleitermaterial des CCD-Sensors erzeugten Ladungsträger proportional zur Anzahl der auf den Chip aufgetroffenen Photonen, so dass photometrische Messungen möglich sind. Diese Eigenschaften der Kamera werden in einem eigenen Praktikumsversuch von Ihnen genauer untersucht (siehe S. 54).

	Imaging CCD	Tracking CCD
Chip	Kodak KAF-1603ME	TI TC-237H
Pixelzahl	1530×1020	657×495
Pixelgröße	$9 \times 9\,\mu\text{m}^2$	$7{,}4 \times 7{,}4\,\mu\text{m}^2$
Chipgröße	$13{,}8 \times 9{,}2\,\text{mm}^2$	$4{,}7 \times 3{,}6\,\text{mm}^2$
Bildfeld (RC-Fokus)	$22{,}4' \times 15{,}2'$	$8{,}1' \times 6{,}1'$
Abbildungsmaßstab (RC)	$0{,}8\,\text{arcsec}^2$/Pixel	$0{,}5\,\text{arcsec}^2$/Pixel
Überlaufkapazität	$100\,000\,\text{e}^-$	
Ausleserauschen (RMS)	$15\,e^-$	$15\,e^-$
A/D Verstärkung	$2{,}3\,\text{e}^-$/ADU	
A/D Wandler	16 Bit	

Tabelle 3.1: Technische Daten beider CCD-Chips der ST-8XME

Die im Praktikum verwendete CCD-Kamera ST-8XME der Santa Barbara Instrument Group (SBIG) besitzt einen Chip des Typs Kodak KAF-1603ME. Zusätzlich ist ein zweiter Chip des Typs Texas Instruments TC-237H in das Gehäuse der Kamera eingebaut, der zur au-

tomatischen Nachführung dient. Die technischen Daten beider Chips sind in Tabelle 3.1 aufgelistet. Weitere Informationen zum Aufbau und zur Funktionsweise der Kamera finden sich im Benutzerhandbuch der ST-8XME in der Laptoptasche oder unter

http://www.sbig.com/pdffiles/st78910man.pdf

3.1 Aufbau und Inbetriebnahme

Die Kamera befindet sich in Raum LS15-158 im Schrank für die Praktikumsgeräte. Da es sich bei der Kamera um ein sehr empfindliches und teures Messinstrument handelt, wird sie in einem mit Schaumstoff ausgelegten schwarzen Koffer gelagert und sollte niemals einfach so in den Schrank gelegt werden. Im Wesentlichen besteht die Kamera aus drei Komponenten:

- dem Kameragehäuse mit integriertem Lüfter,
- einem Filterradgehäuse und
- dem Netzteil für die Stromversorgung der Kamera.

Die Kamera verfügt über eine USB-Schnittstelle für die Kommunikation mit einem PC. Das entsprechende Datenkabel liegt ebenfalls im Kamerakoffer. Der tragbare PC (Notebook) zur Ansteuerung der Kamera wird auch in Raum LS15-158 im Schrank gelagert.
Bei der Installation der CCD-Kamera am Teleskop gehen Sie nach einem festen Schema vor. Lesen Sie sich bitte zunächst alle Punkte durch bevor Sie mit dem Aufbau beginnen.

1. **Montage des CCD-Kopfes am Teleskop**
   Die CCD-Kamera wird in die entsprechende Steckhülse am Okularauszug des Teleskops geschoben und mit der Inbusschraube festgeklemmt. Dabei sollte die flache Seite des CCD-Kopfes (also die Seite, an der die Kabel angeschlossen werden) etwa parallel zur Deklinationsachse liegen.

2. **Anschluss der automatischen Nachführung**
   Stecken Sie das Kabel, an dem die schwarze Relaisbox hängt, einerseits in den großen Stecker des Filterrads am CCD-Kopf (Westernstecker) und andererseits in den Handtaster (siehe Kap. 2.2).

3. **Anschluss der Stromversorgung**
   Stecken Sie zunächst die Kaltgerätekupplung (3-polig) in das Netzteil und den Schuko-Stecker in die noch ausgeschaltete Steckdosenleiste. Dann verbinden Sie das Netzteil mit dem verbleibenden Kabel (Rund-Stecker) mit der Kamera.

4. **Verbindung mit dem Notebook**
   Das USB-Kabel zum Anschluss der Kamera an einen PC besitzt zwei unterschiedliche Stecker. Der annähernd quadratische Typ-B Stecker wird in die entsprechende Buchse an der Kamera gesteckt, während der flache Typ-A Stecker zum Anschluss an das Notebook dient.

5. **Einschalten der Geräte**
   Betätigen Sie den roten Schalter an der Steckdosenleiste und fahren Sie dann das Notebook hoch. An der CCD-Kamera befindet sich kein eigener Netzschalter. Diese wird mit Strom versorgt, sobald Sie den Schalter am Netzteil der Kamera einschalten.

Die Orientierung der CCD-Kamera zu den Drehachsen des Teleskops ist im Prinzip beliebig wählbar. Es erweist sich allerdings als vorteilhaft, wenn die Kamera genau so angeschraubt wird, dass sich das Gesichtsfeld des CCD-Chips bei einer Bewegung des Teleskops in horizontaler und vertialer Richtung verschiebt. Wenn Sie dann z. B. die Stundenachse mit dem Handtaster bewegen, können Sie auf dem Display des Notebooks direkt verfolgen, wie sich der mit der Kamera aufgenommene Bildausschnitt nach rechts oder links verschiebt. Bei einer unvorteilhaften Orientierung kann es hingegen passieren, dass der Bildausschnitt z. B. entlang der Diagonalen wandert, was die Handhabung etwas erschwert.

Beim Betrieb der CCD-Kamera am Teleskop kommen zu den schon vorhandenen Stolperfallen noch eine Reihe neuer Kabel hinzu, die eine – insbesondere im Dunkeln – erhöhte Aufmerksamkeit Ihrerseits erfordern. Schließlich handelt es sich sowohl beim Notebook als auch bei der CCD-Kamera um empfindliche und teure Geräte, die einen pfleglichen Umgang verlangen. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den Bereich zwischen dem Tisch, auf dem das Notebook steht, und dem Stativ des Teleskops zu meiden und dort grundsätzlich nicht mehr hindurchzulaufen.

3.2 Auffinden und Einstellen von Objekten

Da bei Benutzung der CCD-Kamera nicht mehr direkt durch das Hauptfernrohr geschaut werden kann, muss die Einstellung von Objekten mit Hilfe des Leitfernrohrs oder mittels kurzbelichteter CCD-Testaufnahmen vorgenommen werden. Grundsätzlich sollte zu Beginn jeder Beobachtungsnacht die Parallelität der beiden Fernrohre überprüft und ggf. wiederhergestellt werden (siehe Kap. 2.4).

Sie können die aufzunehmenden Objekte wie bei den rein visuellen Beobachtungen mit Hilfe des NGC-MAX anpeilen (siehe Kap. 2.5). Dann überprüft man – wenn möglich – ob das Objekt im Leitfernrohr in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt. Sofern beide Fernrohre parallel ausgerichtet sind und der NGC-MAX richtig einjustiert wurde (siehe Kap. 2.5.1), sollte dies immer in etwa der Fall sein. Manchmal sind sehr kleine Korrekturen erforderlich, die man am besten mit Hilfe des Fadenkreuzokulars am Leitfernrohr vornimmt.

Bevor nun die eigentliche Aufnahme erfolgt, führt man eine kurze Testbelichtung – wie in Kapitel 3.3.3 beschrieben – durch, um zu sehen, ob das gewünschte Objekt auch tatsächlich auf den CCD-Chip abgebildet wird. Die Belichtungszeit für diese Testaufnahmen liegt typischerweise im Bereich einiger Sekunden bis maximal einer halben Minute; dann sollten selbst schwache Nebel grob zu erkennen sein. Um die Photonenausbeute bei den Testaufnahmen zu erhöhen sollte man den Klarfilter verwenden und erst bei der richtigen Aufnahme den gewünschten Farbfilter einstellen. **Falls Sie wiederholt feststellen, dass Objekte, die im Leitfernrohr mittig erscheinen, nicht auf den CCD-Chip abgebildet werden, sollten Sie unbedingt die Parallelität der Fernrohre überprüfen.**

Versuchen Sie nun, das Objekt ungefähr in die Mitte des CCD-Gesichtsfeldes zu bringen. Beachten Sie dabei, dass Sie in der schnellen Einstellung des Handtasters (siehe Kap. 2.2) innerhalb von zwei Sekunden das Gesichtsfeld des CCD-Chips verlassen. Es bietet sich daher an, die Vorlaufbewegung auf die geringste Geschwindigkeitsstufe zu stellen.

Um schwache Objekte, die nicht im Leitfernrohr zu sehen sind, einzustellen, muss man mit Hilfe von Umgebungssternen (Aufsuchkarte bzw. möglichst genauer Sternatlas) die geschätzte Position so gut wie möglich im Leitfernrohr positionieren und dann mit Hilfe von Testaufnahmen – wie oben beschrieben – die Umgebung absuchen.

3.3 Das Programm CCDOps

Die Kamera wird mit Hilfe des Programms CCDOps angesteuert. Wenn Sie sich als Praktikumsbenutzer auf dem Notebook angemeldet haben – Benutzerkennung und Passwort erhalten Sie vom Betreuer – starten Sie das Programm CCDOps durch einen Doppelklick auf das entsprechende Symbol auf dem Desktop. Die folgenden Abschnitte bieten eine kurze Einführung in das Programm CCDOps. Detaillierte Informationen finden sich im „CCDOps User Guide“ – in gedruckter Form in der Notebook-Tasche – oder unter

http://www.sbig.com/pdffiles/CCDOps User Guide Nov 2003.pdf

im Internet. Haben Sie etwas Geduld; es dauert unter Umständen etwas länger, bis die Datei auf Ihrem Computer geladen wird.

3.3.1 Initialisierung

Die Verbindung zur Kamera wird hergestellt, indem man auf das Symbol mit dem Kürzel EstLnk klickt. Alternativ können Sie auch die Tastenkombination `Strg-K` drücken oder im Menü Camera den Punkt Establish COM Link auswählen. In der Statuszeile rechts am unteren Fensterrand sollte dann unter anderem die Statusinformation Link:[ST-8]USB angezeigt werden. Falls eine Fehlermeldung erscheint, die angibt, dass der Verbindungsaufbau fehlgeschlagen ist, überprüfen Sie noch einmal alle Leitungen und Stecker darauf, ob Sie richtig angeschlossen und fest verbunden sind. Schauen Sie auch im Menü Misc→Graphics/Comm Setup... ob als Schnittstelle für die VerbindungUSB eingestellt ist.

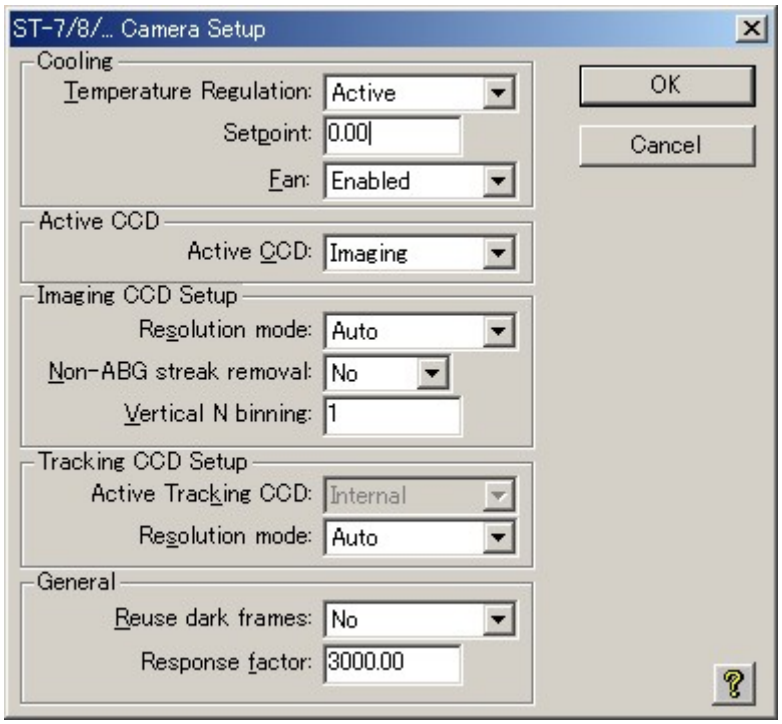

Abbildung 3.1: Setup-Menü für die Kamera

Als nächstes rufen Sie das Setup-Menü (Abb. 3.1) auf und aktivieren die Kühlung der Kamera, indem Sie Temperature Regulation auf [Active] setzen. Achten Sie darauf, dass unter Fan der Lüfter ebenfalls angeschaltet ist [Enabled]. Sie müssen außerdem bei Setpoint die Temperatur angeben, auf die der Chip heruntergekühlt wird. Sie sollte nicht mehr als etwa 30 °C unter der Umgebungstemperatur liegen (Thermometer ist im Metallschrank). Die in der Statuszeile hinter Temp angegebene Kühlleistung (in Klammern hinter der Temperatur)

sollte während der Beobachtungen bei etwa 75% bis 85% und nie darüber liegen, da die Chiptemperatur sonst nicht ausreichend konstant gehalten wird. Nachdem Sie die Einstellungen vorgenommen haben, bestätigen Sie dies durch Klicken der [OK]-Taste.
Außerdem sollten Sie im Menü Misc→Telescope Setup... unter Observer Name Ihre Namen oder den Namen Ihrer Gruppe eingeben. Diese werden dann automatisch in allen Aufnahmen gespeichert und Sie können so immer feststellen, ob eine Aufnahme von Ihnen ist, oder von einer anderen Gruppe gemacht wurde. Die Aperturfläche (Aperture Area) sollte fest auf 71,4712 eingestellt sein, wohingegen die Teleskopbrennweite (Focal Length) beim RC-Fokus 80 inches und beim Cassegrain-Fokus 150 inches beträgt (siehe Kap. 2.4.1).

3.3.2 Fokussierung

Der CCD-Chip muss so genau wie möglich in den Brennpunkt des Teleskops gebracht werden. Dazu verwendet man am besten einen mittelhellen Stern, auf den zunächst das Teleskop auszurichten ist (siehe Kap. 3.2). Die Scharfstellung selbst erfolgt – wie in Kapitel 2.4 beschrieben – durch Drehen der Fokussierschnecke am Okularauszug bzw. des Rändelrades in der Fangspiegelaufhängung, während die CCD-Kamera ständig kurz belichtete Bilder aufnimmt. Bevor Sie mit der Fokussierung beginnen sollten Sie dafür sorgen, dass im Filterrad der Clear-Filter eingestellt ist. Sie können dies in der Statuszeile unten rechts im Programmfenster überprüfen. Im Prinzip können Sie auch einen der anderen Filter verwenden, allerdings kommen beim Clear-Filter die meisten Photonen auf dem CCD-Chip an und Sie verkürzen dadurch die Belichtungszeiten. Beim Wechsel auf einen anderen Filter ändert sich die optische Weglänge nicht, so dass die Fokussierung erhalten bleibt.
Das Programm CCDOps besitzt einen speziellen Fokussierungsmodus, den Sie durch Drücken des Focus-Symbols oder aus dem Camera-Menü heraus aktivieren können. Es erscheint dann ein neues Fenster, in dem Sie verschiedene Einstellungen vornehmen können. Wichtig ist hier vor allen Dingen die Belichtungszeit (Exposure time), die typischerweise zwischen 2 und 10 Sekunden liegen sollte. Belichtungszeiten unter 1 Sekunde sind zu stark von kurzzeitigen Seeing-Effekten beeinträchtigt und erlauben keine zuverlässige Aussage über die Fokussierung.
Ferner können Sie unter Frame size die Größe des ausgelesenen Bildausschnitts wählen. Da man für die Fokussierung eigentlich nur einen Stern benötigt, kann man einen entsprechend kleinen Himmelsausschnitt nehmen und so die Auslesezeiten klein halten, wodurch sich die Bildwiederholfrequenz steigern lässt. Hierzu verwendet man die Option [Planet]. Es wird nun zunächst ein Bild mit dem gesamten CCD-Blickfeld aufgenommen und angezeigt. Im dargestellten Bild erscheint eine Box, die den für die Fokussierung zu benutzenden Ausschnitt wiedergibt. Die Position wie auch die Abmessungen der Box können verändert werden, indem man mit dem Cursor in die Box bzw. auf eine der Ecken links oben oder rechts unten klickt. Man legt nun die Box so um den Stern, dass noch ein bisschen des Himmelshintergrundes mit erfasst wird, und klickt anschließend mit dem Cursor auf [Resume]. Es werden nun laufend Bilder des gewählten Ausschnitts um den Stern aufgenommen und angezeigt.
Als Kriterium für die optimale Fokussierung dient hauptsächlich der Helligkeitswert des am stärksten belichteten Pixels, der automatisch im linken Teil des Focus-Fensters angezeigt wird. Je besser die Fokussierung, desto schmaler und höher ist das stellare Helligkeitsprofil und der angezeigte maximale Pixelwert. Zur Beurteilung der Schärfe sollte man stets mehrere Aufnahmen (> 5) abwarten und die Werte im Kopf mitteln, da durch die Luftunruhe, Vibrationen des Teleskops und winzige Gleichlaufschwankungen der Nachführung beträchtliche Schwankungen des Signals auftreten, je nachdem, ob das Maximum des stellaren Helligkeitsprofils mehr oder weniger auf nur ein Pixel oder auf die Grenze zwischen mehreren Pixeln fällt. Bei leichtem Wolkendurchzug können außerdem Helligkeitsschwankungen auftreten. In verzirrten Nächten bleibt einem oft nichts anderes übrig, als das dargestellte

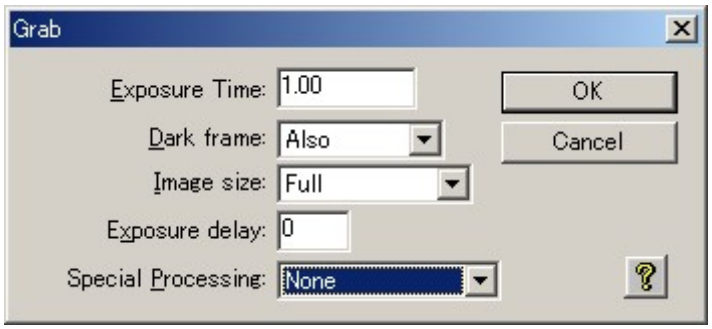

Abbildung 3.2: Dialogfenster für die Aufnahme von Bildern

Abbild des Sterns nach Rundheit und Gleichmäßigkeit zu beurteilen.
Man beachte, dass die digitalen Helligkeitswerte in 16 Bit-Zahlen abgespeichert werden und daher einen Maximalwert von 65 535 ADU (Analog Digital Unit) nicht überschreiten können. Vermeiden Sie Überbelichtungen (Pixelwerte mit mehr als 40 000 ADU) und verwenden Sie gegebenenfalls einen schwächeren Stern oder stellen Sie eine kürzere Belichtungszeit ein.
Lassen Sie sich bei der Fokussierung Zeit und gehen Sie gründlich vor. Eine schlechte Fokussierung hat zur Folge, dass alle in der Beobachtungsnacht aufgenommenen Bilder unscharf und daher möglicherweise unbrauchbar sind. In Nächten mit starken Temperaturänderungen kann es außerdem erforderlich sein, nach einer gewissen Zeit nachzufokussieren.

3.3.3 Aufnahme von Bildern

Bevor Sie eine langbelichtete Aufnahme machen, sollten Sie sicherstellen, dass das gewünschte Objekt auch tatsächlich auf den CCD-Chip abgelichtet wird. Dazu machen Sie – wie in Kapitel 3.2 beschrieben – kurzbelichtete Testaufnahmen im Focus-Modus (siehe Kap. 3.3.2). Es bietet sich dabei an, durch Reduktion der Auflösung mittels Binning von Pixeln zu größeren effektiven Pixeln (2x2 oder 3x3), sowohl die Empfindlichkeit der Pixel zu erhöhen als auch die Auslesezeiten signifikant zu verkürzen. Dazu stellt man im Focus-Menü bei Frame size den Wert [Dim] ein und klickt auf [OK]. Es werden dann ähnlich wie beim Fokussieren ständig neue Bilder angezeigt, diese werden aber automatisch mit verringerter Auflösung aufgenommen. Verändern Sie nun die Ausrichtung des Teleskops bis der gewünschte Bildausschnitt im Fenster erscheint. Ist das Kabel für die automatische Nachführung am Handtaster angeschlossen (siehe Kap. 3.1), kann das Teleskop auch durch Tastendruck mit dem Mauszeiger auf die Slew-Buttons verstellt werden.
Für die richtigen Aufnahmen ruft man, entweder über das Symbol Grab oder über den entsprechenden Menüpunkt im Camera-Menü, das Dialogfenster Grab auf (Abb. 3.2). Es erscheint eine Eingabemaske, in der als wichtigster Parameter die Belichtungszeit (Exposure Time) in Sekunden einzugeben ist. Die kürzestmögliche Belichtungszeit beträgt 0,12 s, die längstmögliche 3 600 s.
Desweiteren wird man bei Dark frame aufgefordert anzugeben, ob zusätzlich [Also] eine Dunkelaufnahme aufgenommen werden soll, die sofort von der Aufnahme abgezogen wird. Alternativ kann auch ausschließlich [Only] eine Dunkelaufnahme oder keine [None] zusätzliche Dunkelaufnahme gemacht werden. Die beiden letztgenannten Optionen sind dann sinnvoll, wenn geplant ist, mehrere Bilder mit gleicher Belichtungszeit aufzunehmen, so dass man dieselbe Dunkelaufnahme zur Korrektur der Bilder verwenden kann. Sie können die Qualität der Korrektur des Dunkelstroms noch verbessern, indem Sie mehrere Dark frames aufnehmen und daraus ein gemitteltes Dunkelbild erzeugen. Alle Aufnahmen müssen dann selbstverständlich bei gleicher Temperatur des Chips und mit gleich langer Belichtungszeit erfolgen.

Ferner gibt man bei Image size an, ob der ganze [Full] oder nur ein Teil [Half] bzw. [Quarter] des CCD-Chips ausgelesen werden soll. Letzteres ist z. B. bei Planetenaufnahmen (siehe Kap. 3.4.3) sinnvoll, da Auslesezeiten und Speicherplatzbedarf reduziert werden. Mit Exposure Delay kann man eine Verzögerungszeit einstellen, die nach dem Klicken auf [OK] bis zum Beginn der Aufnahme verstreichen soll. Man kann dies z. B. verwenden, wenn man vor der Aufnahme die Kuppel verlassen möchte. Ein Umherlaufen in der Sternwarte während der Belichtung führt immer zu leichten Vibrationen und hat zur Folge, dass das Bild verwackelt. Nach dem Start der Aufnahme wird die verbleibende Belichtungszeit und danach der Vorgang des Auslesens angezeigt. Schließlich erscheint das fertige Bild in einem eigenen Fenster.
Der in der Kamera integrierte CCD-Fotosensor ist nicht in der Lage, die auf ihn auftreffenden Photonen hinsichtlich ihrer Energie (und damit Farbe) zu unterscheiden. Eine einfache Möglichkeit, dennoch an eine Farbinformation heranzukommen, besteht darin, Farbfilter vor den CCD-Chip einzuschieben. Die ST-8XME-Kamera besitzt dazu einen Aufsatz mit einem Filterrad, der in der Regel aufgeschraubt sein sollte. Im Menü Filter können Sie zwischen rotem [Red], grünem [Green] und blauem [Blue] Filter auswählen. Außerdem gibt es einen [Clear]-Filter für ungefilterte Aufnahmen. Der Mondfilter existiert nur als Menüeintrag und ist im Filterrad nicht vorhanden. In der Statuszeile unten rechts im Programmfenster können Sie kontrollieren, welcher Filter derzeit vor dem CCD-Chip eingeschoben ist. Beachten Sie bei Farbaufnahmen auch die Hinweise in Kapitel 3.4.2.

3.3.4 Bildanalyse und Bildbearbeitung

Nach der Aufnahme sind die Bilder zunächst nur im Hauptspeicher des Notebooks vorhanden. Zum Abspeichern auf der Festplatte ist im Menü File→Save As... der Dateiname und das Format anzugeben. Für das Praktikum gibt es einen eigenen Ordner, in dem Sie für Ihre Gruppe ein Verzeichnis anlegen (am besten gleich mit verschiedenen Unterverzeichnissen für die einzelnen Beobachtungen). Wählen Sie als Ausgabeformat das komprimierte ST8-Format. Denken Sie auch daran, den Dateien sinnvolle Namen zu geben, damit Sie es bei der Auswertung leichter haben, Ihre Daten wiederzufinden.
Bei den Versuchen zur Photometrie und Spektroskopie (siehe Kap. 5) ist es nötig, dass die Bilddaten zur Weiterverarbeitung im FITS-Format abgespeichert werden. Hierbei ist unbedingt darauf zu achten, dass die Speicherung mit 16 Bit erfolgt. Zusätzlich sollten Sie Angaben zu Objekt, Teleskop und Beobachter machen, die im sogenannten FITS-Header festgehalten werden. Auch dies erleichtert Ihnen die spätere Datenanalyse. Beim Speichern im FITS-Format sollte die Dateinamenerweiterung „.FIT“ lauten.
Einmal gespeicherte Bilddateien können über das Menü File →Open... erneut angezeigt und bearbeitet werden. Wichtig für die Darstellung von Bildern ist die geeignete Verteilung der Graustufen über den tatsächlichen dynamischen Bereich der Aufnahme. Neben dem Fenster mit der Bildanzeige sollte noch ein Fenster mit dem Titel Contrast geöffnet worden sein. Darin kann man mit Hilfe der Parameter [Back] und [Range] festlegen, welchem Pixelwert die Farbe Schwarz zugeordnet wird und über welchen Bereich die Graustufen bis zur Farbe Weiß verteilt werden. Ist im Kontrastfenster [Auto] angeklickt, wird die Wahl dieser Parameter nach bestimmten Kriterien vom Programm selbst vorgenommen.
Ein weiteres nützliches Werkzeug zur Bildanalyse ist der Grafik-Cursor. Sollte das Fenster X Hair nicht geöffnet sein, können Sie dieses im Menü Display→Show Crosshair aufrufen. Sie erhalten dann im Bild einen kreuzförmigen Mauszeiger, mit dem Sie sich die Daten einzelner Pixel anzeigen lassen können. Damit können Sie z. B. auf sehr einfache Weise festellen, ob gewisse Bildbereiche überbelichtet sind oder wie stark der Hintergrund ist.
Globale Informationen zum Bild erhalten Sie über ein Histogramm, das über Display→Show Histogram aufgerufen wird. Hier können Sie die Verteilung der Helligkeitswerte, deren Mit-

telwert (Ave) und mittlere quadratische Abweichung (RMS) ablesen.
Bearbeiten lassen sich die Bilder mit Hilfe der Werkzeuge aus dem Menü Utility. Besonders nützlich sind das Abziehen von Dunkelaufnahme Dark Subtract... und Weißbild Flat Field... zur Korrektur von Aufnahmefehlern (siehe Kap. 3.4.1). Falls Sie Bilder mit den verschiedenen Farbfiltern aufgenommen haben, können Sie mit RGB Combine... ein farbiges Bild zusammensetzen.

3.3.5 Automatische Nachführung mit dem Tracking CCD

In der Regel ist die am Teleskop montierte automatische Nachführung vollkommen ausreichend, um zu verhindern, dass Bilder bei längerer Belichtung Schlieren zeigen oder verwaschen wirken. Bei extremen Langzeitbelichtungen kann es aber notwendig werden, den Gleichlauf des Teleskops zusätzlich zu kontrollieren und ggf. zu korrigieren. Die ST-8XME-Kamera besitzt einen zweiten CCD-Chip (Tracking CCD) neben dem Hauptchip (Imaging CCD) (siehe Tab. 3.1). Mit Camera→Switch CCDs können Sie zwischen beiden CCDs wechseln. In der Statuszeile lässt sich ablesen, welcher Chip gerade aktiv ist und bei der nächsten Aufnahme ausgelesen wird.
Der Tracking CCD ist auf der Platine im Kopf der Kamera neben dem Hauptchip angebracht und zeigt deswegen einen etwas anderen Himmelsausschnitt. Man kann sich diesen Umstand zu Nutze machen, indem man einen hellen Stern, der auf dem Tracking CCD abgebildet wird, als Leitstern benutzt, um die Nachführung des Teleskops zu korrigieren. Dazu muss das Programm CCDOps in der Lage sein, Steuerbefehle über die Kamera an die Schrittmotoren des Teleskopantriebs zu senden. Hierzu muss das Verbindungskabel zwischen CCD-Kopf und Handtaster angeschlossen sein (siehe Kap. 3.1). Drehen Sie außerdem die Geschwindigkeit am Handtaster auf die zweitkleinste Stufe ($1'/s$).
Vor Beginn der Aufnahme muss die automatische Nachführung mit Hilfe eines Eichsterns kalibriert werden. Bringen Sie dazu einen hellen Stern ins Gesichtsfeld der CCD-Kamera und rufen dann über Track→Calibrate... das Eingabefenster Calibrate Track auf. Hier geben Sie die Belichtungszeit (Exposure Time) für die Kalibrationsaufnahmen, die Zeitdauer für die Bewegung entlang der beiden Achsen (X Time / Y Time) und die Deklination des Eichsterns an. Außerdem können Sie auswählen welcher CCD-Chip für die Eichung verwendet wird. Typische Werte für die Belichtungszeit sind einige Sekunden und für die Bewegungszeiten 1 bis 5 Sekunden in jeder Richtung. Letztere sollten so gewählt werden, dass der Eichstern während des Kalibrationsvorgangs das Gesichtsfeld des CCD-Chips nicht verlässt. CCDOps beginnt mit der Kalibration wenn Sie den [OK]-Button anklicken. Das Teleskop wird dann in alle vier Himmelsrichtungen bewegt, wobei zwischendurch jeweils eine kurze Aufnahme gemacht wird. Diese Prozedur dient dazu, die Bewegungsrichtung und -geschwindigkeit der Nachführung zu messen.
Während des Kalibrationsvorgangs wird die Position des hellsten Pixels (entspricht etwa der Position des Eichsterns) angezeigt und man kann die Bewegungsrichtung des Teleskops verfolgen. Geht beim Kalibrationsvorgang der Eichstern verloren, weil er z. B. aus dem Gesichtsfeld wandert, erscheint eine Fehlermeldung. Es empfiehlt sich daher, mittels kurzbelichteter Testaufnahmen (siehe Kap. 3.3.3) zu überprüfen, ob der Eichstern einigermaßen in der Mitte des Gesichtsfeldes liegt. In ungünstigen Fällen kann es passieren, dass bei der Bewegung des Teleskops ein zuvor nicht im Gesichtsfeld befindlicher hellerer Stern auf dem Chip erscheint, der dann den Kalibrationsvorgang unbrauchbar macht. Achten Sie also während der Kalibration darauf, dass der Helligkeitswert des hellsten Pixels etwa konstant bleibt.
Nach erfolgreicher Kalibration werden im Menü Track→ Selfguide... bei Exposure time und Track time die Belichtungszeiten für Imaging CCD bzw. Tracking CCD eingestellt. Mit [OK] bestätigen Sie die Eingabe und es wird eine Aufnahme mit dem Tracking CCD gemacht. Es erscheint dann ein Fenster mit dieser Aufnahme und Sie sind aufgefordert einen Leitstern

durch Anklicken mit dem Mauszeiger auszuwählen. Anschließend klicken Sie auf [Resume], um die automatische Nachführung zu starten. Die eigentliche Aufnahme mit dem Imaging CCD wird durch Anklicken des [Start]-Buttons in Gang gesetzt.
Achtung! Bei dieser Art der Aufnahme wird nicht automatisch eine Dunkelaufnahme erzeugt. Diese müssen Sie anschließend mit gleicher Belichtungszeit separat aufnehmen (siehe Kap. 3.3.3).

3.3.6 Beenden der Beobachtung

Nach der letzten Aufnahme stellen Sie im Menü Camera→ Setup... die Temperaturregelung auf [Off]. Dadurch wird die Stromversorgung des Peltierelements in der Kamera abgeschaltet und der CCD-Chip passt sich langsam der Umgebungstemperatur an. Dies hat keine Auswirkungen auf den Lüfter; dieser sollte weiterhin zu hören sein! Verfolgen Sie in der Statuszeile unten rechts im Programmfenster, wie sich die Temperatur erhöht. Sobald die Temperatur noch etwa 10 °C unter der Umgebungstemperatur liegt, kann die Verbindung zur Kamera mit Camera→Shutdown bzw. durch Klicken auf das Symbol ShtDn getrennt werden. **Unterbrechen Sie niemals die Stromversorgung des CCD-Kopfes bevor sich die Kamera wieder näherungsweise auf Umgebungstemperatur erwärmt hat!**
Zu Ihrer eigenen Sicherheit sollten Sie die von Ihnen aufgenommenen Bilddateien nach jeder Beobachtungsnacht entweder auf einem mitgebrachten USB-Stick sichern oder über eine Netzwerkverbindung auf den Praktikumsrechner übertragen (siehe Kap.5). So können Sie eventuellem Datenverlust bei Ausfall des Notebooks vorbeugen.

3.4 Spezielle Hinweise

3.4.1 Aufnahme von Flatfields

Genaue Helligkeitsmessungen mit einer CCD-Kamera sind nur möglich, wenn verschiedene, die Signalstärke beeinflussende Effekte berücksichtigt werden. Dazu gehören

- geringfügige Variation der Empfindlichkeit von Pixel zu Pixel,
- Mitte-Rand-Verdunkelung als Folge der Vignettierung durch die Fernrohroptik,
- Haare, Staub, etc. auf allen optischen Bauteilen im Strahlengang vom Primärspiegel bis zu den Farbfiltern in der Kamera.

Diese, in den Aufnahmen enthaltenen, „Dreck-Effekte“ werden durch ein sogenanntes Weißbild (Engl. Flatfield) herauskorrigiert. Es handelt sich dabei um die Aufnahme einer gleichmäßig beleuchteten Fläche, die ein möglichst diffuses Bild liefert, so dass das Signal für alle Pixel nahezu gleich ist. Das tatsächlich gemessene Signal gibt dann die Signalvariationen infolge der o. g. Effekte wieder.
In der Praxis realisiert man Flatfields entweder durch die Aufnahme des hellen Dämmerungshimmels (Sky-Flats) oder durch eine gleichmäßig beleuchtete Fläche vor dem Fernrohrobjektiv (Dome-Flats). Die Sky-Flats liefern i. A. bessere Resultate, haben aber den Nachteil, dass sie nur in einem verhältnismäßig kurzen Zeitraum während der Abend- oder Morgendämmerung aufgenommen werden können. Dome-Flats lassen sich hingegen jederzeit herstellen, weisen aber leichte Helligkeitsschwankungen verursacht durch die Richtungscharakteristik des einfallenden Lichts auf. Im Praktikum können Dome-Flats mit Hilfe eines Halogenscheinwerfers, mit dem man eine weiße Fläche an der Kuppelinnenwand anstrahlt, gewonnen werden. Folgendes ist bei der Aufnahme von Flatfields zu berücksichtigen:

- Grundsätzlich sind bei jeder CCD-Beobachtung Flatfields aufzunehmen.
- Flatfields und die dadurch zu korrigierenden Himmelsaufnahmen müssen mit exakt derselben optischen Konfiguration aufgenommen werden. D. h. zwischen den Aufnahmen darf der CCD-Kopf nicht verdreht oder aus dem Okularauszug entfernt werden.
- Das bedeutet auch, dass mit jedem der verwendeten Filter ein eigenes Flatfield aufgenommen werden muss.
- Das Flatfield sollte stark belichtet, aber keinesfalls überbelichtet sein. Die Belichtungszeit muss so gewählt werden, dass die Pixel Helligkeitswerte im Bereich von 10 000 bis 30 000 ADU aufweisen.
- Die Genauigkeit lässt sich noch steigern, indem man mehrere Flatfields aufnimmt und diese später mittelt.

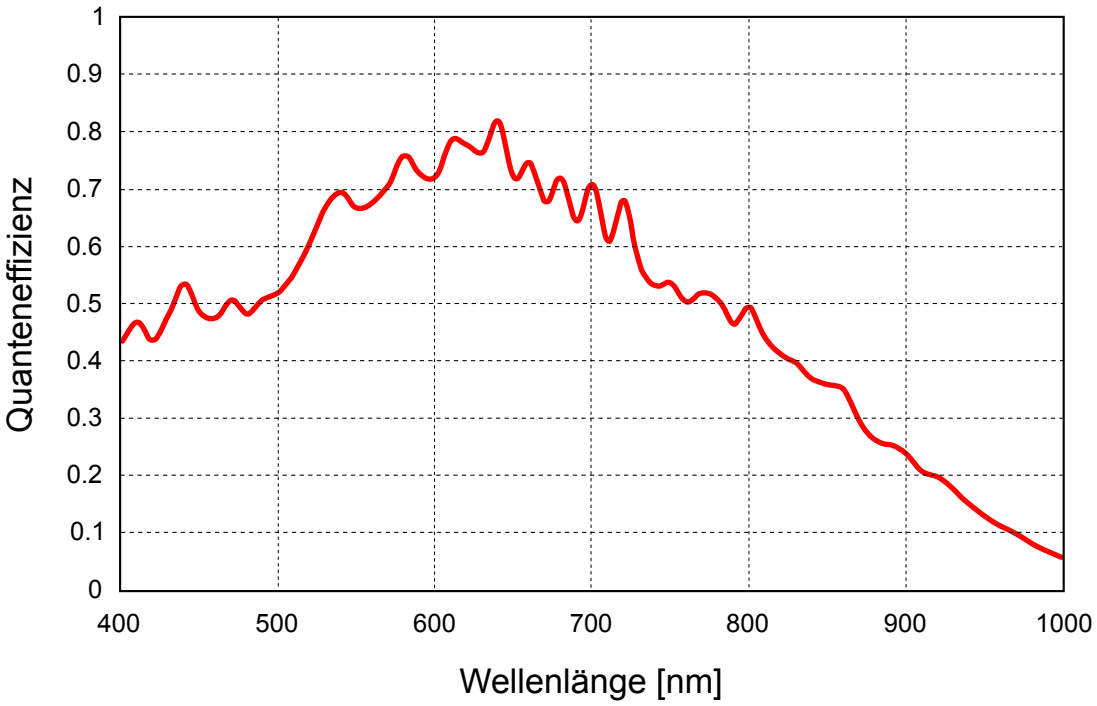

Abbildung 3.3: Quanteneffizienz des CCD-Fotosensors KAF-1603ME

3.4.2 Farbaufnahmen

Wie schon in Kapitel 3.3.3 beschrieben, werden für Farbbilder drei unterschiedliche Aufnahmen mit rotem, grünem und blauem Filter gemacht. Diese Bilder liefern die Intensitäten in den verschiedenen Farbkanälen, die es möglich machen, daraus ein farbiges Gesamtbild zusammenzusetzen. Selbstverständlich geht dabei die detaillierte Farbinformation, also das tatsächliche Spektrum der detektierten Photonen verloren. Dennoch ist es möglich, auf diese Weise Bilder zu erzeugen, die von unserem Auge als farbig wahrgenommen werden. Das liegt daran, dass das menschliche Auge ebenfalls die Intensitäten in den drei Farbkanälen aufzeichnet, die dann vom Gehirn wieder zu einem Gesamtfarbeindruck zusammengesetzt werden.

Wenn Sie nun vorhaben, mit einer CCD-Aufnahme ein photorealistisches farbiges Abbild zu erzeugen, müssen Sie darauf achten, dass die in den einzelnen Farbkanälen aufgenommenen Intensitäten denen entsprechen, die ein menschliches Auge (bei ausreichend langer Integrationszeit) wahrnehmen würde. In der Regel haben CCD-Chips eine mehr oder weniger stark von der Wellenlänge der eintreffenden Photonen abhängige Quanteneffizienz (siehe Abb. 3.3). Daher sollten Sie darauf achten, dass Sie eine der CCD-Quanteneffizienz angepasste Belichtungszeit für die einzelnen Filter wählen. Ein anderer Weg wäre, bei der Zusammensetzung der Bilder die Intensitäten mit entsprechenden Faktoren zu multiplizieren. Allerdings führt das zu schlechteren Resultaten, weil das Signal-zu-Rausch Verhältnis der aufgezeichneten Bilder bei gleich langer Belichtungszeit und unterschiedlicher Quantenausbeute verschieden ist.

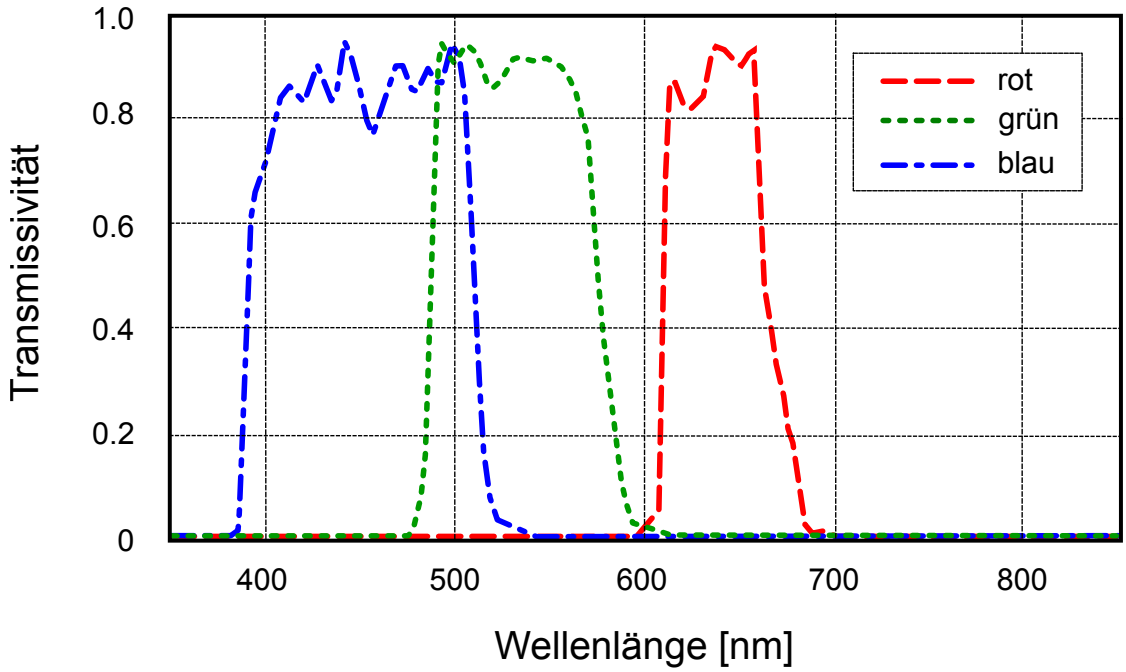

Abbildung 3.4: Transmissionskurven des RGB-Filtersatzes

Neben der unterschiedlichen Farbempfindlichkeit des CCD-Chips sollten Sie auch die Transmissionscharakteristik der verwendeten Farbfilter berücksichtigen. Wie Sie in Abbildung 3.4 sehen können, liegt die maximale Durchlässigkeit bei allen drei Farben bei etwa 90% der einfallenden Intensität. Allerdings unterscheiden sich die Breiten der Wellenlängenbereiche, in denen das Licht durchgelassen wird.
Selbst wenn Sie diese Effekte bei der Wahl der Belichtungszeit beachten, werden Sie dennoch feststellen, dass Ihre Farbaufnahme sich zum Teil deutlich von den Aufnahmen desselben Objekts unterscheidet, die Sie z. B. im Internet finden können. Das liegt dann zu einem großen Teil daran, dass Sie die Rayleigh-Streuung in der Erdatmosphäre nicht berücksichtigt haben. Dies führt zu einer starken Unterschätzung der Intensitäten im kurzwelligen Bereich (blau) im Vergleich zu einer Aufnahme, die außerhalb der Erdatmosphäre gemacht wurde.

3.4.3 Planetenaufnahmen

Um möglichst hoch aufgelöste Bilder von Planeten zu bekommen, ist es empfehlenswert, das Teleskop mit dem Cassegrain-Fokus zu verwenden (siehe Kap. 2.4.1). Bei ruhiger Luft beträgt die Pixelgröße im RC-Fokus 0,9 × 0,9 Quadratbogensekunden, wohingegen sich die Pixelgröße im Cassegrain-Fokus auf 0,5 × 0,5 Quadratbogensekunden verringert.

3.4.4 Automatischer Aufnahmemodus

Bei bestimmten Beobachtungsaufgaben ist es sinnvoll, wiederholte Belichtungen mit derselben Belichtungzeit in gleichen Zeitintervallen durchzuführen, z. B. bei der Aufnahme der Lichtkurve eines veränderlichen Sterns (siehe S. 56). Hierzu gibt es im Menü Camera→Grab... unter Special Processing die Möglichkeit [Auto Grab] einzustellen. Sie müssen dann den Dateinamen der Aufnahmeserie sowie das Ausgabeformat der Bildserie angeben. Außerdem werden Angaben über das Zeitintervall zwischen den Belichtungen (gerechnet vom Beginn einer Aufnahme bis zum Beginn der nächsten Aufnahme) und die Anzahl der Bilder in einer Serie benötigt. Die einzelnen Aufnahmen werden dann unter den Dateinamen mit den Endungen .001, .002, .003 etc. abgespeichert. Eine automatische Nachführung ist in diesem Modus leider nicht möglich.

Kapitel 4

Spektroskopie

Die Spektroskopie ist eine der wichtigsten Beobachtungsmethoden der Astrophysik. Mit ihrer Hilfe lassen sich detaillierte Informationen über das insbesondere von Sternen aber auch von allen anderen Objekten emittierte elektromagnetische Spektrum gewinnen. Anders als bei der Photometrie, die lediglich über einen mehr oder weniger breiten Wellenlängenbereich gemittelte Helligkeiten liefert, kann bei der Spektroskopie die Intensität der elektromagnetischen Strahlung als Funktion der Wellenlänge mit sehr hoher spektraler Auflösung gewonnen werden. Dazu macht man sich das physikalische Phänomen der Dispersion zu Nutze, also die Abhängigkeit der Lichtbrechung von der Wellenlänge. So ist es möglich – z. B. mit Hilfe eines Prismas – das Licht der zu untersuchenden Gestirne farblich zu trennen. Dadurch erreicht man, dass die spektrale Verteilung, bei der jeder Wellenlänge eine Intensität zugeordnet werden kann, in eine räumliche Verteilung überführt wird. Diese kann ein Detektor wie eine Fotoplatte oder ein CCD-Fotosensor aufzeichnen. Eine punktförmige Quelle wird so als Linie abgebildet, wobei die räumliche Dimension entlang dieser Linie den Wellenlängen der spektralen Verteilung zuzuordnen ist.

Prismen werden heutzutage in der astronomischen Spektroskopie nicht mehr verwendet, da deren spektrale Auflösung zu gering ist. Außerdem haben sie den Nachteil, dass sie aufgrund der nichtlinearen Dispersion schwer zu kalibrieren sind. In der Regel verwendet man daher Gitterspektrographen. Will man nur das Spektrum eines einzelnen Sterns gewinnen, so platziert man in der Brennebene des Teleskops eine Spaltblende. Lediglich längs des Spalts und damit quer zur Dispersionsrichtung bleibt dann noch eine räumliche Information erhalten. Das vom Spalt kommende divergente Lichtbündel muss dann von einem Kollimator parallel gerichtet und nach spektraler Zerlegung durch das Gitter von einem Kameraobjektiv auf die Detektorfläche fokussiert werden. Das Spektrum ist im Grunde genommen nichts weiter als eine kontinuierliche Abfolge monochromatischer Spaltbilder. Als Gitter werden heutzutage meistens sogenannte Blaze-Gitter verwendet, die durch ihre spezielle sägezahnartige Furchenform den größten Teil des Lichtes in eine bestimmte Ordnung des Beugungsbildes konzentrieren.

Die wichtigsten Kenngrößen eines Spektrographen sind die Dispersion, die Auflösung und der insgesamt abgebildete Wellenlängenbereich. Die Dispersion gibt an, wie stark das Spektrum aufgefächert wird. Meist wird sie in Form der reziproken linearen Dispersion (in Å/mm) angegeben. Der abgebildete Wellenlängenbereich ist um so größer, je geringer die Dispersion (bzw. je größer die reziproke Dispersion) ist, und je größer die linearen Abmessungen der Detektorfläche sind. Die Auflösung $R = \lambda/\Delta\lambda$ eines Spektrographen hängt von einer Reihe von Parametern ab. Neben dem Durchmesser des Lichtbündels und der Anzahl der Gitterstriche eines Gitters spielen vor allem die Spaltbreite, die Kamerabrennweite und die Detektorauflösung (Pixelgröße) eine Rolle.

4.1 Der SBIG Stellar Spectrograph

Der SBIG Self Guided Spectrograph (SGS) ist ein kleiner Gitterspektrograph, der mit der ST-8XME CCD-Kamera als Detektor am Teleskop in der Übungssternwarte eingesetzt wird. Er kann mit zwei unterschiedlichen Gittern, die auf einer drehbaren Vorrichtung montiert sind (siehe Abb. 4.1), betrieben werden. Das Gitter mit niedriger Liniendichte (150 Linien/mm) und damit hoher reziproker Dispersion (478 Å/mm) gestattet die Aufnahme von größeren Spektralbereichen mit niedriger Auflösung, während das andere Gitter (600 Linien/mm, 119 Å/mm) kleinere Bereiche mit höherer spektraler Auflösung abbildet. Die Breite des jeweiligen Wellenlängenintervalls beträgt für ersteres etwa 6600 Å und für das feinere Gitter 1600 Å.

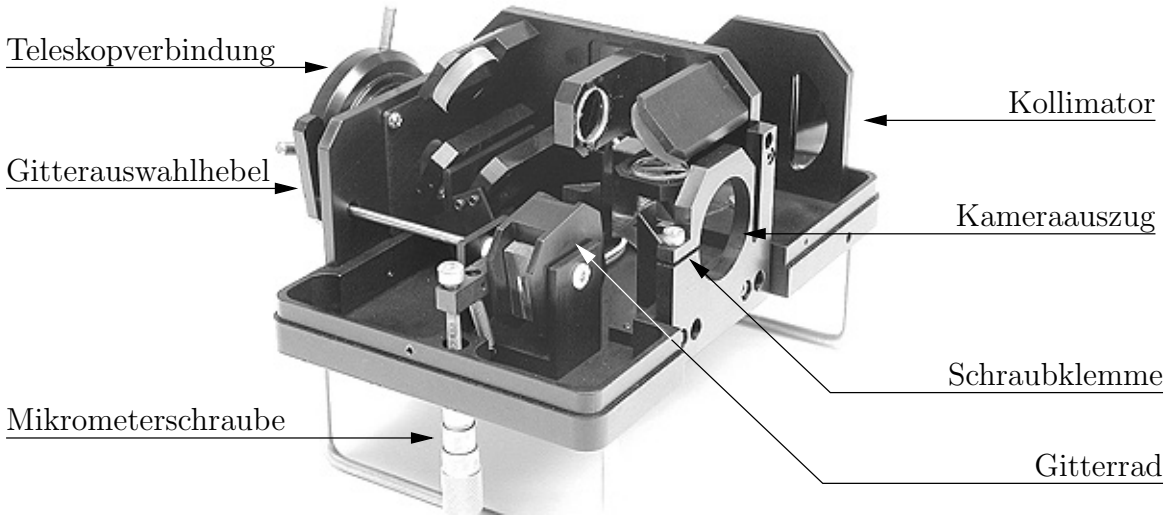

Abbildung 4.1: SBIG Self Guided Spectrograph

Durch eine Mikrometerschraube (siehe Abb. 4.1) kann die Orientierung des Gitters leicht verändert werden, so dass man den auf dem Detektor abgebildeten Wellenlängenbereich verschieben kann. Die niedrigste einstellbare Zentralwellenlänge liegt bei 3800 Å und die höchste bei 7500 Å.
Hinter der Teleskopverbindung befindet sich eine Vorrichtung, in die eine Blende geklemmt werden kann. Dafür stehen zwei verschiedene Spaltblenden von 18 μm und 72 μm Breite zur Verfügung, die bei 2 m Brennweite einen Himmelsausschnitt von 2 bzw. 8 Bogensekunden Breite herausschneiden. Im Allgemeinen wird für die Sternspektroskopie nur der schmale Spalt verwendet. Lediglich für die Aufnahme ausgedehnter und sehr lichtschwacher Objekte (Gasnebel, Galaxien) kann es sinnvoll sein, den breiteren Spalt zu verwenden.
Damit das Beobachtungsobjekt präzise vor dem Spalt platziert werden kann, gibt es die Möglichkeit, den Spalt von der Rückseite zu beleuchten (kleiner Kippschalter auf der Unterseite des Spektrographen). Über einen halbdurchlässigen Spiegel und einige Umlenkspiegel, wird dann das dem Spaltbild überlagerte Bild des Sterns auf dem Tracking Chip der CCD-Kamera abgebildet.
Nach dem Nyquist-Kriterium wird die Auflösung durch die Breite von zwei Pixeln auf dem CCD-Chip begrenzt. Mit den Daten aus Tabelle 3.1 für den in der ST-8XME Kamera eingebauten Kodak CCD-Chip ergeben sich für die verschiedenen Spalt-Gitter-Kombinationen die in Tabelle 4.1 angegebenen Werte.
Zur Wellenlängenkalibration ist auf der Unterseite des Spektrographen eine Quecksilber-Argon-Dampflampe des Typs LSP035 der Firma LOT angebracht. Eine runde Metallscheibe

Gitter(Linien/mm)	Spalt(μm)	$\Delta\lambda$(Å)	R
150	18	10.0	500
600	18	2.4	2000
150	72	38.0	130
600	72	10.0	500

Tabelle 4.1: Auflösung $R = \lambda/\Delta\lambda$ für die verschiedenen Spalt- und Gittereinstellungen

verdeckt ein kleines Eintrittsfenster, über das das Licht der Kalibrationslampe in den Spektrographen gelangen kann.

4.2 Aufbau des Spektrographen

Zunächst muss die Kamera an den Spektrographen angebracht werden. Dies erfordert etwas Geschick und sollte immer bei Licht im Vorbereitungsraum und niemals oben in der Sternwarte gemacht werden.

1. **Filterrad und Kameraaufsatz entfernen**
   Schrauben Sie das Filterrad von der Kamera ab, indem Sie die kleinen Inbusschrauben zwischen Filterrad und Kamera lösen. **Niemals das Filterrad als Ganzes drehen!** Der Kameraaufsatz ist mit vier Kreuzschlitzschrauben befestigt, die Sie herausschrauben müssen. Kameraaufsatz und Filterrad können Sie im Kamerakoffer verstauen. Die vier Kreuzschlitzschrauben benötigen Sie später noch.

2. **Spektrographen aufschrauben**
   Öffnen Sie dann den Spektrographen, indem Sie den Deckel lösen. Er ist ebenfalls mit vier Kreuzschlitzschrauben (nicht mit den anderen verwechseln!) festgemacht. Der aufgeschraubte Spektrograph sollte so aussehen wie in Abbildung 4.1.

3. **Kameraaufsatz für Spektrographen anbringen**
   Lösen Sie nun die Schraubklemme am Kameraauszug mit einem Inbusschlüssel und ziehen Sie den Kameraaufsatz heraus. Dieser Aufsatz hat ebenso wie der fürs Filterrad vier Löcher und muss nun mit denselben vier Schrauben an der Kamera festgeschraubt werden. Achten Sie auf die Markierungen am Kameragehäuse, damit Sie ihn richtig herum anbringen.

4. **Kamera anschließen und Spektrograph zuschrauben**
   Stecken Sie die Kamera samt Aufsatz wieder in den Kameraauszug und drehen Sie die Klemmschraube fest an. Auch hierbei spielt die Orientierung eine Rolle. Die Kamera sollte mit der flachen Seite in Richtung der Mikrometerschraube angebracht sein. Als Letztes schrauben Sie den Deckel wieder auf den Spektrographen.

Achtung! Abgesehen von der Mikrometerschraube, der LED-Beleuchtung und dem Hebel für den Gitterwechsel sind am Spektrographen keine Veränderungen vorzunehmen! Insbesondere dürfen die messingfarbenen Schrauben nicht verstellt werden! Sollten Zweifel an der inneren Justage des Spektrographen aufkommen (z.B. unscharfe Spektrallinien), ist ein Praktikumsbetreuer zu verständigen.
Zur Installation am Teleskop muss zunächst der große silberne Zwischenring am Okularauszug des Teleskops durch einen ähnlichen aber kürzeren weißen Ring ersetzt werden. Dies ist nötig, weil die optische Weglänge zwischen Teleskop und Kamera durch Einbau des Spektrographen erheblich länger geworden ist. Dann wird an die Fokussiereinheit ein schwarzer Zwischenring mit beidseitigem Gewinde gesetzt und der Spektrograph samt Kamera mit

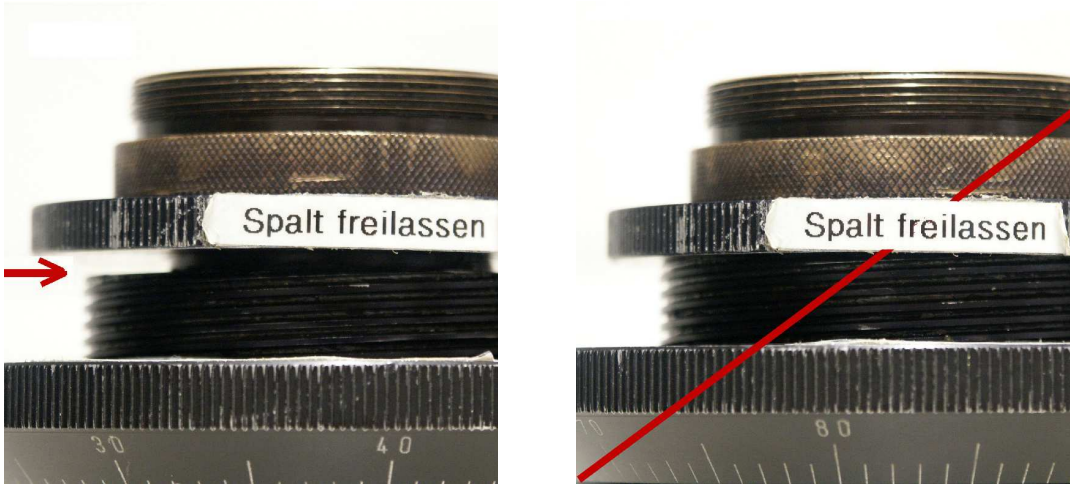

Abbildung 4.2: **Links: richtig**, mit freigelassenem Spalt; **rechts: falsch**, Zwischenring zu weit aufgeschraubt.

einer Überwurfmutter festgeschraubt. Der Zwischenring dient als Kontermutter und sollte fest gegen die Überwurfmutter geschraubt werden. **Er darf keinesfalls fest an die Fokussiereinheit geschraubt werden!** Es muss immer ein Spalt bleiben, da sonst die Gefahr besteht, dass er sich nicht mehr lösen lässt (siehe Abb. 4.2). Achten Sie außerdem darauf, dass die lange Seite des Spektrographengehäuses parallel zur Deklinationsachse verläuft.
Der Anschluss von CCD-Kamera und Notebook wird auf die in Kapitel 3.1 beschriebene Weise durchgeführt. Der Spektrograph benötigt keine eigene Stromversorgung, allerdings wird die Kalibrationslampe über ein eigenes Netzteil mit der Stromversorgung verbunden.

4.3 Einstellung des Spektrographen

Wie oben bereits erwähnt, wird als Detektor am Spektrographen die ST-8XME Kamera der Firma SBIG verwendet. Sie sollten daher mit der Funktionsweise der Kamera – insbesondere auch der Handhabung des Tracking CCD – und der Bedienung des Programms CCDOps (siehe Kap. 3.3) vertraut sein.
Bevor Sie mit der Aufnahme von Spektren beginnen, ist es wichtig, dass Sie sich von der Parallelität von Hauptfernrohr und Leitfernrohr überzeugt haben (siehe Kap. 2.4). Außerdem müssen Sie – wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben – eine Fokussierung durchführen. Da der große Imaging CCD-Chip die Spektren aufzeichnet, kann er weder zur Ausrichtung des Teleskops noch zur Fokussierung verwendet werden. Überprüfen Sie also vor dem Fokussieren in der Statuszeile des Programms CCDOps, ob der Imaging CCD aktiv ist, und wechseln Sie ggf. über das Menü Camera→Switch CCDs auf den Tracking CCD.
Es ist außerdem empfehlenswert sich Gedanken darüber zu machen, welchen Wellenlängenbereich man aufzeichnen möchte und mit was für einer spektralen Auflösung dies geschehen soll. Wie schon in Kapitel 4.1 erwähnt, kann man beim SBIG SGS zwei verschiedene Gitter mit unterschiedlicher Dispersion einstellen. Dazu dreht man am Gitterauswahlhebel (siehe Abb. 4.1) bis dieser in der gewünschten Stellung einrastet (man beachte die Beschriftung auf dem Gehäuse des Spektrographen).

Mit Hilfe der Mikrometerschraube an der Unterseite des Spektrographen können Sie die Verkippung des Gitters leicht variieren. Das hat zur Folge, dass sich der auf dem CCD-Chip abgebildete Wellenlängenbereich verschiebt. Im Prinzip lässt sich die Skala der Mikrometerschraube – zumindest für eines der Gitter – so kalibrieren, dass der eingestellte Wert der zentralen Wellenlänge (in 10^{-3} Å) entspricht. Allerdings bleibt diese Kalibration nie sehr lange erhalten und da es relativ aufwendig ist sie einzurichten, wird dies nicht mehr gemacht. Sie sollten den Absolutwerten der Skala also nicht allzuviel Beachtung schenken, sondern nur die relativen Veränderungen betrachten. In hoher Dispersion entspricht eine volle Umdrehung der Mikrometerschraube etwa 500 Å. Das bedeutet, dass sie mit Hilfe des Nonius im Prinzip eine Einstellgenauigkeit von ungefähr 1 Å haben.

Mit Hilfe der HgAr-Kalibrationslampe auf der Unterseite des Spektrographen können Sie den eingestellten Wellenlängenbereich sichtbar machen. Für die Kalibrationsaufnahmen öffnen Sie das mit einer runden Metallscheibe verdeckte Eintrittsfenster am Spektrographen und schalten dann die Lampe am Netzteil ein. Haben Sie etwas Geduld! Es kann manchmal einige Minuten dauern bis sie zündet. **Achtung! Wegen der hohen UV-Intensität sollten Sie es unbedingt vermeiden, direkt in das Licht der HgAr-Lampe zu schauen. Schalten Sie die Kalibrationslampe außerdem nur dann an, wenn Sie Kalibrationsaufnahmen machen möchten.** Für das Verstellen des Wellenlängenbereichs ist es zweckmäßig, den Fokus-Modus (siehe Kap. 3.3.2) des Programms CCDOps zu verwenden und automatisch kurzbelichtete Aufnahmen mit dem Imaging CCD zu machen, während man an der Mikrometerschraube dreht. Achten Sie darauf, dass der eingestellte Bereich mindestens zwei Spektrallinien enthält. Außerdem müssen Sie in der Lage sein, diese Linien dem bekannten Spektrum der Lampe (siehe Abb. 4.3 - 4.8) eindeutig zuzuordnen. Versuchen Sie markante Liniengruppen zu finden, die z. B. die Doppellinien bei 5790,7 Å und 5769,6 Å bzw. 4077,8 Å und 4046,6 Å enthalten.

4.4 Aufnahme von Sternspektren

Nachdem Sie die Grundeinstellungen vorgenommen haben, können Sie mit der Aufnahme der Sternspektren beginnen. Es sind im Wesentlichen drei Arbeitsschritte nötig, die im Folgenden genauer beschrieben werden.

4.4.1 Auffinden und Einstellen des Sterns

Die Ausrichtung des Teleskops erfolgt ganz analog zu der in Kapitel 3.2 dargelegten Weise. Der einzige wesentliche Unterschied besteht darin, dass Sie den Tracking CCD anstelle des Imaging CCDs verwenden. Die Einstellung des Klarfilters entfällt, da das Filterrad bei der Installation des Spektrographen abgeschraubt wurde (siehe. 4.2).

Erscheint der Stern auf den Aufnahmen des Tracking CCD, können Sie mit der genauen Platzierung vor dem Spalt beginnen. Dazu schalten Sie die Spaltbeleuchtung am Spektrographen an (kleiner Kippschalter auf der Unterseite) und versuchen dann, das Bild der Sternscheibe mit dem Spalt in Deckung zu bringen. Mit dem Dimmer, der sich ebenfalls auf der Unterseite des Spektrographen befindet, können Sie die Helligkeit der Spaltbeleuchtung regulieren, was insbesondere bei schwachen Sternen zweckmäßig ist. Der Stern sollte möglichst mittig auf dem Spalt liegen. Vergessen Sie nicht, die Spaltbeleuchtung nach erfolgreicher Justage wieder abzuschalten; sie überlagert sich sonst dem Sternspektrum bei der Aufnahme und macht diese unbrauchbar.

4.4.2 Aufnahme des Sternspektrums

Die Breite des Spektrums senkrecht zur Dispersionsrichtung ist durch die Ausdehnung entlang des Spalts bestimmt. Bei Sternen ist dies das Seeingscheibchen. Im Allgemeinen ergibt sich hieraus keine zusätzliche Information, so dass es sinvoll ist, die Pixel in dieser Richtung zusammenzufassen (engl. Binning). Dies verkürzt die Auslesezeit erheblich. Im CCDOps-Programm ist im Menü Camera→Setup... (siehe Abb. 3.1) unter Resolution die Option 1xN zu wählen. Hiermit werden N Pixel in vertikaler Richtung (d. h. senkrecht zur Dispersionsrichtung) zu einem Pixel zusammengefasst. N kann auf verschiedene Werte gestellt werden, allerdings sollte der Wert nicht größer sein als die vertikale Ausdehnung des Sterns im Spalt. Für Sterne liegen die Werte typischerweise im Bereich von $N = 2$ bis $N = 4$.
Die eigentliche Aufnahme starten Sie dann über das Menü Grab (siehe Kap. 3.3.3 und Abb. 3.2). Dort legen Sie die wesentlichen Aufnahmeparameter wie z. B. die Belichtungszeit fest und klicken auf [OK]. Typische Belichtungszeiten für Sternspektren liegen im Bereich von 30 Sekunden bis zu einigen Minuten. Sie hängen sowohl von der Helligkeit des betrachteten Sterns als auch vom verwendeten Gitter ab. In hoher Dispersion sind deutlich längere Belichtungszeiten erforderlich, um ein gleich gutes Signal-zu-Rauschen Verhältnis wie in niedriger Dispersion zu erzielen.
Für längere Belichtungszeiten kann der Tracking-Chip der ST-8XME Kamera zur automatischen Nachführung (Selfguide) verwendet werden (siehe Kap. 3.3.5). Die Kalibrierung der Nachführung kann in diesem Fall allerdings nur mit dem Tracking CCD durchgeführt werden. Zusätzlich bietet es sich an, beim Nachführen die Option Track-to-the-cursor zu verwenden. Damit ist es möglich, die Position des Sterns mit dem Cursor anzugeben, und ihn somit auf dem Spalt festzuhalten.

4.4.3 Kalibrationsaufnahmen

Die Wellenlängenkalibration erfolgt über die Aufnahme des Emissionsspektrums der HgAr-Kalibrationslampe (siehe Kap. 4.3). Für die Kalibrationsspektren sind im Gegensatz zu den Sternspektren wenige Sekunden Belichtungszeit vollkommen ausreichend. Am besten machen Sie die Kalibrationsaufnahme direkt im Anschluss an die Aufnahme des Sternspektrums, ohne dabei die Lage des Teleskops und des Spektrographen zu verändern. Denken Sie daran, nach der Kalibrationsaufnahme das Fenster auf der Unterseite des Spektrographen wieder zu verschließen, damit beim nächsten Sternspektrum kein Streulicht durch diese Öffnung in den Spektrographen gelangen kann.
Wie bei den fotografischen Aufnahmen ist es auch bei Spektroskopie notwendig, die Rohdaten mit Hilfe von Dunkelbildern (Dark frames) zu korrigieren. Deren Aufnahme hat ebenso mit gleicher Belichtungszeit, gleichem Binning und bei gleicher Temperatur des Chips zu erfolgen. Hierbei ist besonders sorgfältig vorzugehen, da aufgrund des geringen Hintergrunds bei der Spektroskopie das Rauschen weitgehend vom Dunkelstrom dominiert wird und nicht durch den Himmelshintergrund. Daher sollten Sie auf eine möglichst genaue Einhaltung der Temperatur achten und die Dark frames direkt im Anschluss an die Spektren aufnehmen.
Grundsätzlich müssen auch CCD-Aufnahmen von Spektren mit Hilfe eines Weißbildes (Flatfield) korrigiert werden, z. B. durch Aufnahme des Spektrums einer hellen Lampe mit kontinuierlichem Spektrum. Leider ist der Spektrograph nicht ganz dicht, so dass bei der üblichen Aufnahme eines Weißbildes mit Hilfe der Halogenlampe starkes Streulicht am Spalt vorbei in das Innere des Spektrographen und auf den CCD-Chip gelangt. Dieses erzeugt einen sehr starken Hintergrund auf dem Weißlichtspektrum, dass die Aufnahme unbrauchbar macht (vermutlich ist ein Loch am Gitterauswahlschalter).
Desweiteren ist es sehr sinnvoll eine Flusskalibration durchzuführen. Auch dafür gibt es zur Zeit noch keine wirklich befriedigende Lösung. Im Wesentlichen gibt es zwei Effekte,

die eine Korrektur der gemessenen Flüsse erfordern. Zum einen die Farbabhängigkeit der Quanteneffizienz des CCD-Fotosensors (siehe Abb. 3.3) und zum anderen Extinktion in der Erdatmosphäre – insbesondere die durch Rayleigh-Streuung verursachte starke Verringerung der Flüsse im kurzwelligen Bereich. Eine sehr einfache – und zur Zeit auch mögliche – Lösung bietet die Aufnahme eines Vergleichsspektrums von der Wega (α Lyrae). Dazu müssen Sie, nachdem Sie die Grundeinstellung des Spektrographen vorgenommen haben, ein Spektrum der Wega aufnehmen. Mit Hilfe des bekannten Wegaspektrums mit absoluter Flusskalibration kann dann ein Korrekturspektrum gewonnen werden, dass Sie für die Flusskorrektur von anderen Sternspektren verwenden können. Fragen Sie die Betreuer nach dem exakten Wegaspektrum.

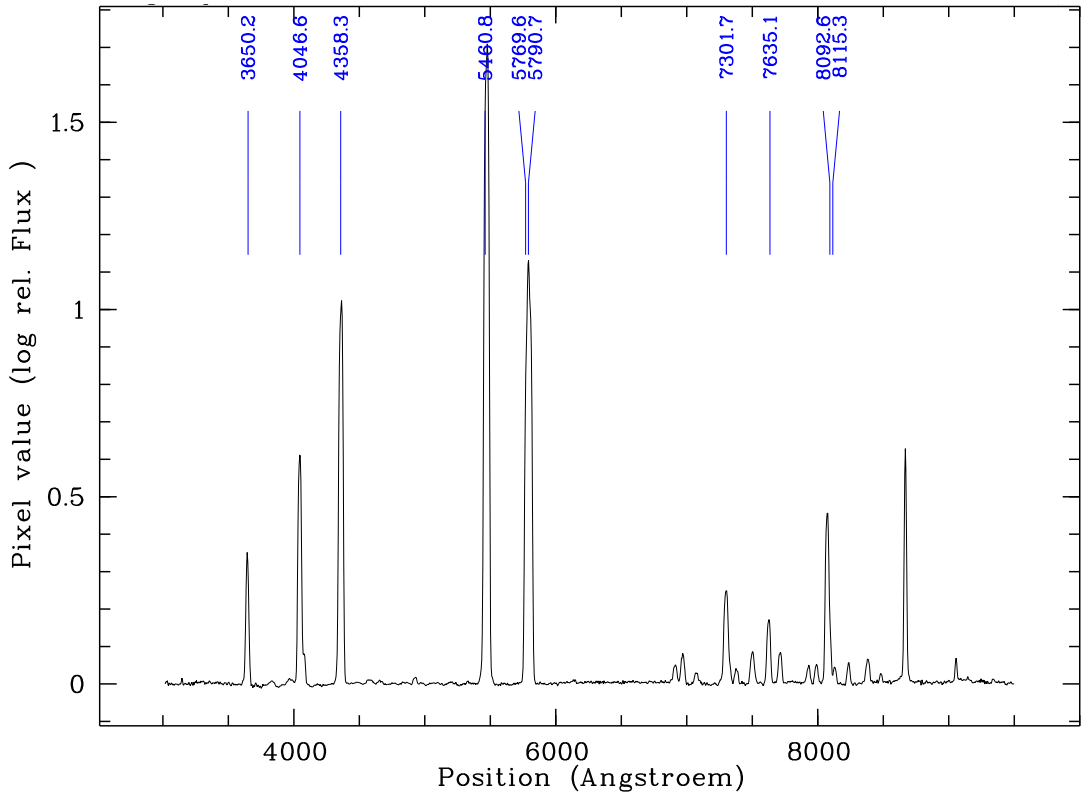

Abbildung 4.3: Linienidentifikation für niedrigaufgelöste Spektren.

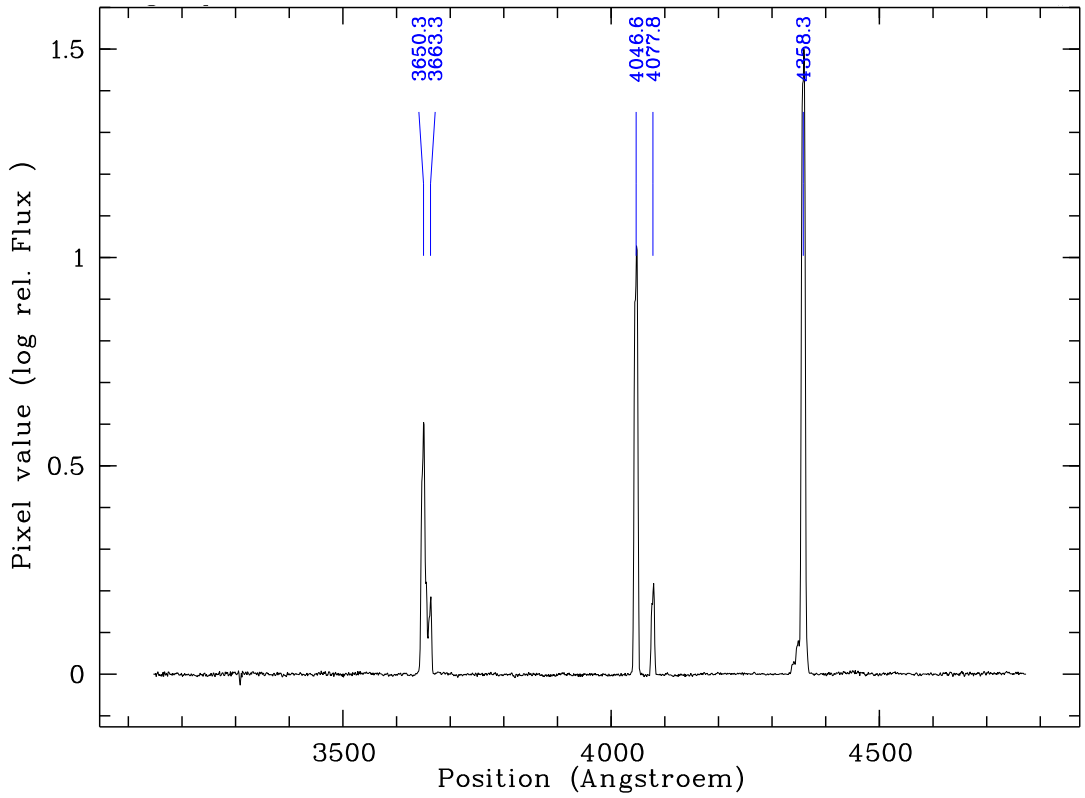

Abbildung 4.4: Linienidentifikation für hochaufgelöste Spektren.

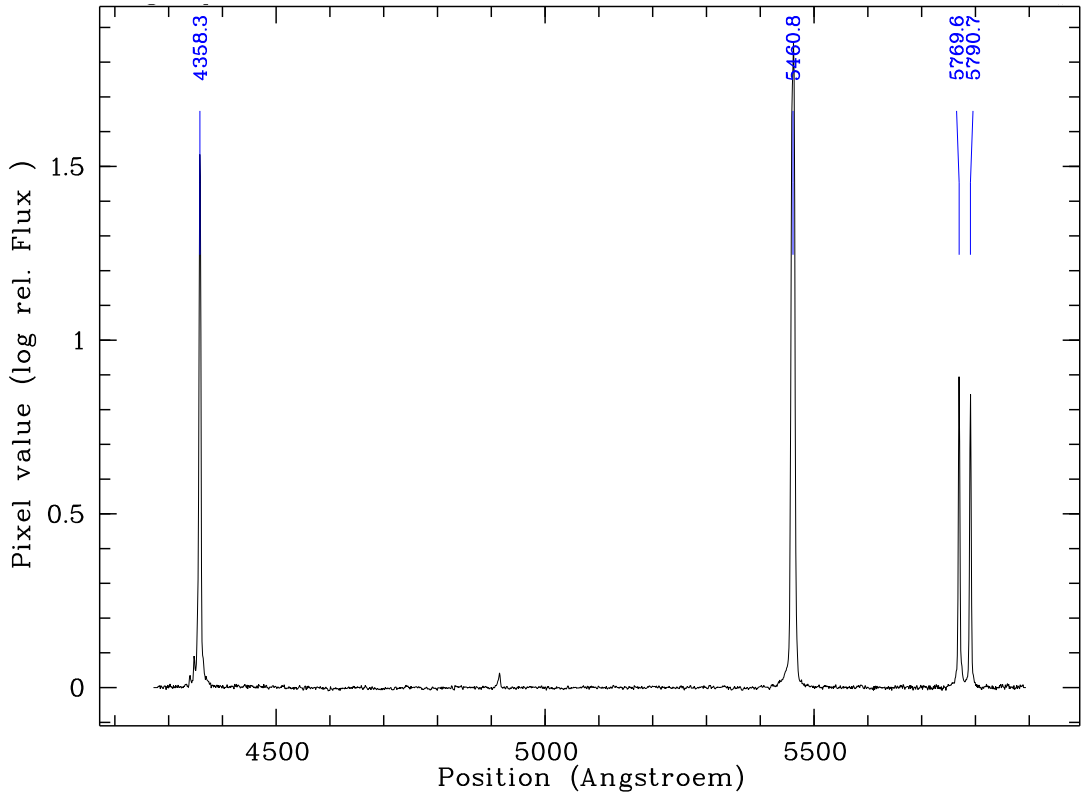

Abbildung 4.5: Linienidentifikation für hochaufgelöste Spektren.

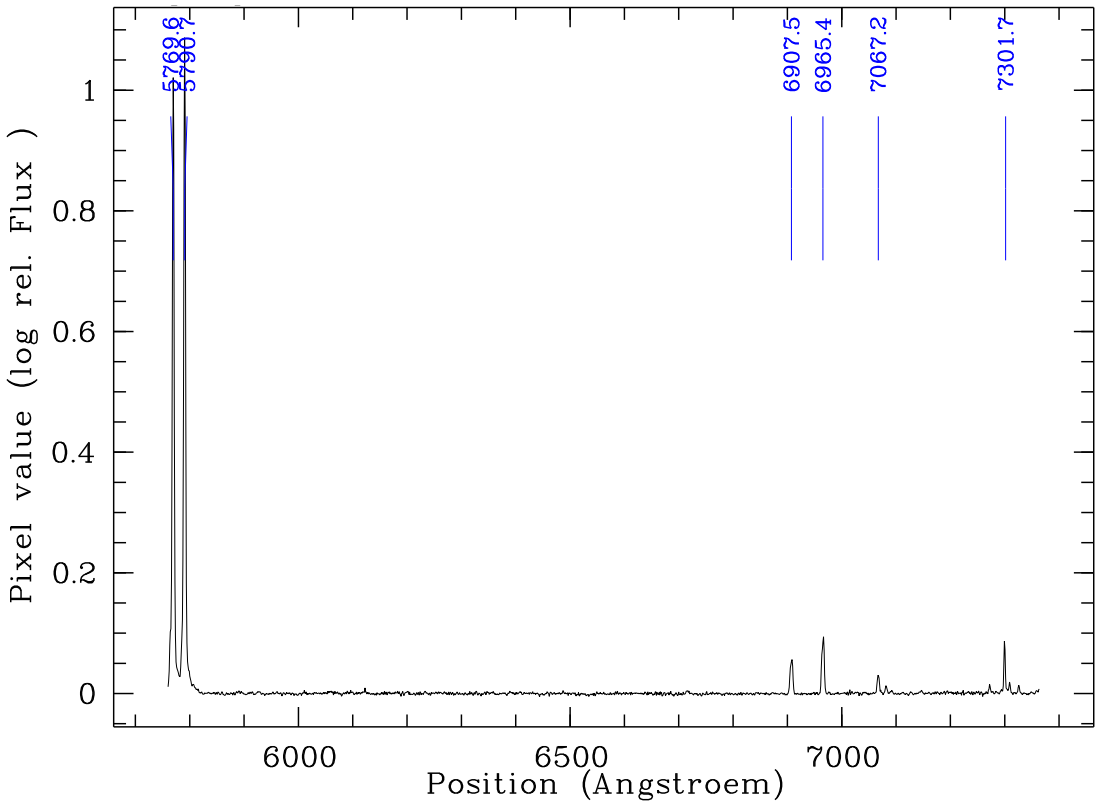

Abbildung 4.6: Linienidentifikation für hochaufgelöste Spektren.

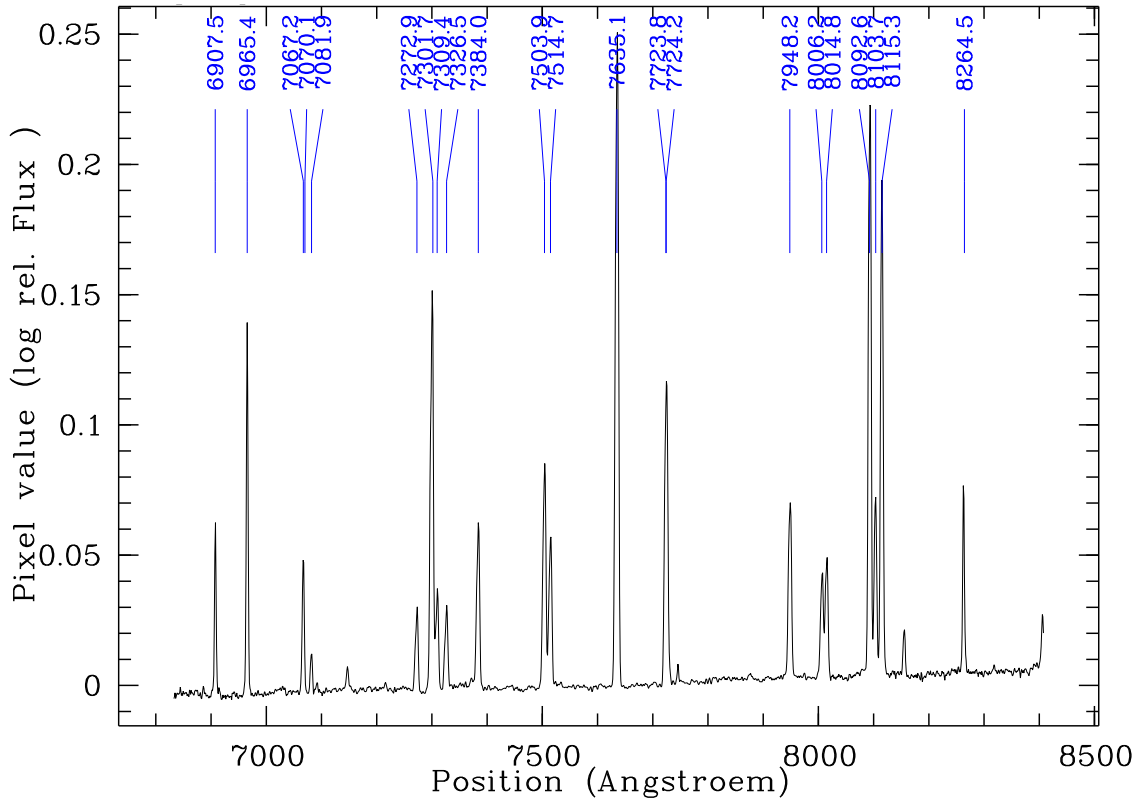

Abbildung 4.7: Linienidentifikation für hochaufgelöste Spektren.

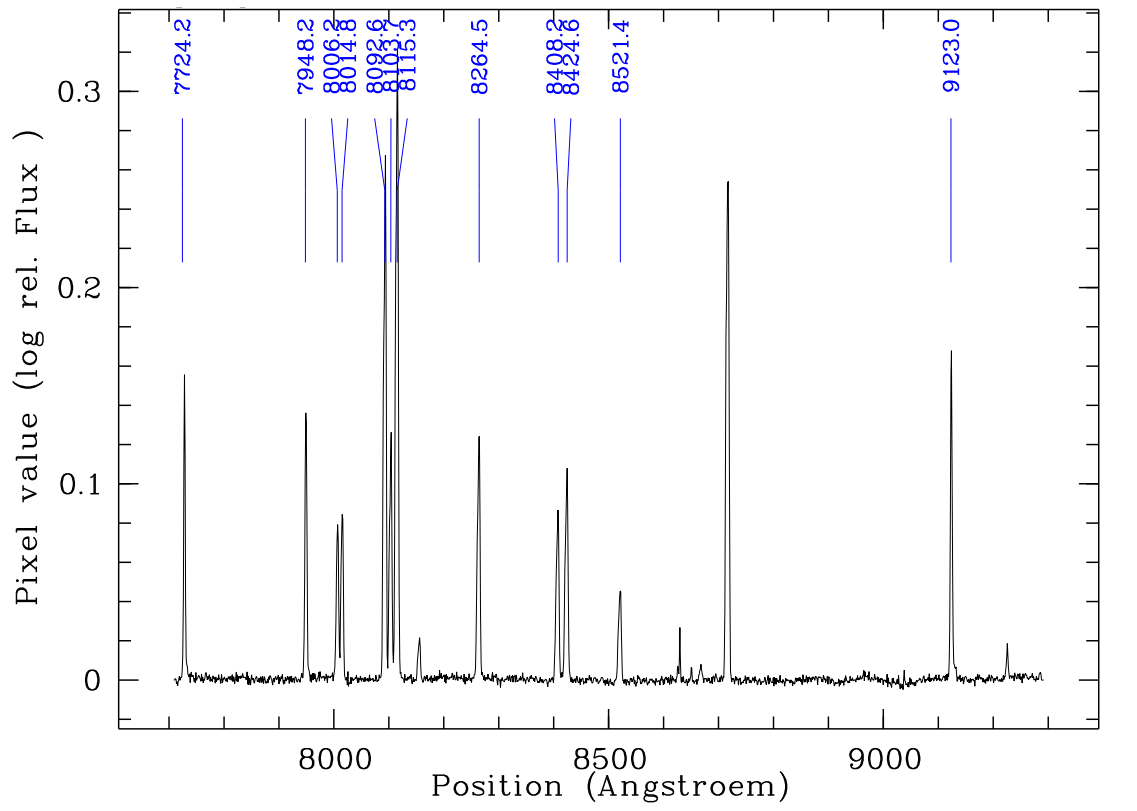

Abbildung 4.8: Linienidentifikation für hochaufgelöste Spektren.

Kapitel 5

Datenverarbeitung

Für die Auswertung der bei den Beobachtungen gewonnenen Daten steht in Raum LS15-159 ein Linux-PC zur Verfügung. Dieser Computer ist in das lokale Netzwerk des *Instituts für Theoretische Physik und Astrophysik* eingebunden. Der Rechnername lautet *ganymed*. Als Betriebssystem ist auf dem Praktikumscomputer ein *SuSE Linux* installiert.

In der Regel ist der Rechner ausgeschaltet und muss zunächst gestartet werden. Danach müssen Sie sich am System anmelden. Sie erhalten die Benutzerkennung und das Passwort von den Betreuern des Praktikums. Sie dürfen diese unter keinen Umständen notieren oder an Dritte weitergeben! Nachdem Sie die Arbeit beendet haben, melden Sie sich ab. **Fahren Sie den Rechner nicht herunter und schalten Sie ihn keinesfalls einfach aus!** Am Abend werden von allen Daten Sicherheitskopien (Backups) angelegt, um einem Datenverlust beim Ausfall des Rechners vorzubeugen. Dazu muss der Rechner angeschaltet bleiben. Sollten Probleme bei der Benutzung des Computers auftreten, ist ein Betreuer zu verständigen.

5.1 Einführung in UNIX

Die Rechner des Instituts laufen unter dem Betriebssystem Linux. Es handelt sich dabei um ein UNIX-Derivat für IBM-kompatible PCs. Nachdem Sie sich mit der Benutzerkennung und dem Passwort als Praktikumsbenutzer angemeldet haben, wird unter der graphischen Benutzeroberfläche X-Windows die Desktop-Umgebung KDE geladen. Am unteren Bildschirmrand sollte eine Startleiste (Taskbar) erscheinen. Durch Klicken mit der linken Maustaste auf das grüne Symbol ganz links, können Sie ein Menü öffnen, über das sich Programme starten lassen. Für einige Programme gibt es auch Schnellstartsymbole direkt auf der Startleiste.

Obwohl der Praktikumsrechner mit einer graphischen Benutzeroberfläche ausgestattet ist, die insbesondere dem Anfänger das Arbeiten auf einem UNIX-System erheblich erleichert, ist es dennoch sehr vorteilhaft, sich die Grundzüge des Arbeitens mit der Kommandozeile anzueignen. Sie starten die Kommandozeile entweder mit dem entsprechenden Schnellstartsymbol oder über das Startmenü unter System→Terminal→Konsole. Es sollte sich dann ein Fenster öffnen, in dem eine Zeile mit dem sog. *Prompt* von der Art

```
benutzername@ganymed:~>
```

mit anschließendem Eingabecursor erscheint. Die Kommandozeile erwartet nun die Eingabe von Befehlen. Der Befehl wird ausgeführt, sobald Sie die Eingabe mit der Enter-Taste bestätigen. In der folgenden Tabelle sind einige der wichtigsten Kommandozeilenbefehle mit kurzen Erläuterungen aufgelistet:

`cd` *dirname*	wechselt vom gerade aktuellen Verzeichnis in ein Unterverzeichnis mit dem Namen *dirname*
`cd ..`	wechselt in das nächst-übergeordnete Verzeichnis.
`pwd`	zeigt den Namen des gerade aktuellen Verzeichnisses an.
`ls`	listet die Namen der im aktuellen Verzeichnis stehenden Dateien und Unterverzeichnisse auf.
`ls -Falg | pg`	ist auf den Workstations kurz als `ll` verdrahtet. Diese Optionen bewirken, einige nützliche Informationen wie z. B. Dateigröße, Zugriffsrechte und Datum der letzten Änderung zu jedem Eintrag mit ausgegeben werden. Unterverzeichnisse werden mit / und ausführbare Dateien mit * gekennzeichnet. Außerdem erfolgt die Ausgabe seitenweise.
`mv` *oldname newname*	benennt die Datei mit dem Namen *oldname* in *newname* um. Ist *newname* der Name eines Verzeichnisses, dann wird die Datei *oldname* in dieses Verzeichnis verschoben und behält ihren Namen bei. Bitte keine arithmetischen Zeichen in Dateinamen verwenden!
`cp` *file1 file2*	kopiert den Inhalt der Datei *file1* in die Datei *file2*. Existiert *file2* schon, so wird der Inhalt überschrieben, andernfalls wird diese Datei neu eröffnet. Ist *file2* der Name eines Verzeichnisses, dann wird *file1* in dieses Verzeichnis kopiert und behält den Namen bei.
`rm -i` *file*	löscht die Datei mit dem Namen *file*, wenn die Abfrage `remove file?` mit `y` beantwortet wird.
`mkdir` *newdir*	legt im momentan aktuellen Verzeichnis ein neues Unterverzeichnis mit dem Namen *newdir* an.
`rmdir` *olddir*	löscht das Verzeichnis *olddir*, sofern es leer ist.
`cat` *file*	gibt den Inhalt der Datei *file* vollständig auf dem Bildschirm aus.
`cat` *file* | `pg`	dito, jedoch seitenweise. Bei uns auch als `pg` *file* verdrahtet.
`cat` *file1 file2* > *out file*	kopiert den Inhalt von *file1* und *file2* hintereinander in die Datei *outfile*.
`man` *commandname*	liefert eine ausführlichere Beschreibung des Befehls *commandname*, seiner Syntax und möglicher Optionen auf dem Bildschirm, sowohl für die obigen, wie für alle anderen Befehle.

5.2 Datenübertragung auf den Praktikums-PC

Die CCD-Aufnahmen mit der ST-8XME Kamera werden mit Hilfe des Programms CCDOps in einem eigenen Datenformat der Firma SBIG (ST8) auf dem Notebook gespeichert (siehe Kap. 3.3.4). Zur Weiterverarbeitung auf dem PC ist es jedoch notwendig, die Dateien in das FITS-Format (Flexible Image Transport System) zu konvertieren, das in der Astronomie sehr weit verbreitet ist und einen Quasi-Standard darstellt. Das Programm CCDOps ist in der Lage, Dateien in diesem Format zu speichern. Möchten Sie ältere Dateien umwandeln, können Sie die ST8-Dateien erneut in CCDOps laden und dann unter dem Menüpunkt File→Save as... im FITS-Format speichern (Dateiendung: .FIT).
Diese FITS-Dateien müssen dann auf den Praktikums-PC übertragen, damit Sie sie dort öffnen und weiterverarbeiten können. Zunächst müssen Sie das Praktikums-Notebook mit dem in der Tasche befindlichen Netzwerkkabel an das Institutsnetzwerk anschließen. Sie können dies in der Sternwarte tun oder auch in den Räumen LS15-158/159. Achten Sie darauf, dass Sie einen Netzwerkanschluss mit einem roten Punkt verwenden. Andere Anschlüsse sind unter Umständen nicht ans Netzwerk angeschlossen. Für die Übertragung auf den Praktikums-PC steht auf dem Praktikums-Notebook das Programm *WinSCP3* zur Verfügung. Sie starten es über das entsprechende Symbol auf dem Arbeitsplatz.
Nachdem Sie das Programm gestartet haben, müssen Sie den Zielrechner angeben, mit dem Sie sich verbinden wollen. Das ist in diesem Fall der Rechner *ganymed.astrophysik.uni-kiel.de*. Sie werden dann aufgefordert Benutzername (Login) und Passwort anzugeben. Hier tragen Sie die Daten für den Zugang auf dem Rechner *ganymed* ein. Ist die Verbingung hergestellt, erscheinen in der linken Hälfte des Fensters die lokalen Verzeichnisse und Dateien auf dem Notebook, während im rechten Teil diejenigen des Praktikums-PCs angezeigt werden. Wählen Sie auf dem Notebook das Quellverzeichnis für die Übertragung aus (in der Regel ein Unterordner von `C:\Praktikum\`). Auf dem Zielrechner *ganymed* sollten Sie ein eigenes Verzeichnis für Ihre Gruppe im Ordner `WS09` anlegen, wenn Sie z. B. im Wintersemester 2009 das Praktikum machen. Sie können dann die zu kopierenden Dateien mit der Maus per „Drag and Drop“ auf den Praktikums-PC kopieren. Mehrere Dateien können Sie durch gleichzeitiges Drücken von Shift- oder Strg-Taste und linker Maustaste markieren. Das Programm *WinSCP3* wird beendet, indem man unter Session→Verbindung trennen bzw. einfach Exit anklickt.

5.3 MIDAS

Zur Verarbeitung der Bilder wird MIDAS (Munich Image Data Analysis System) benutzt. Dabei handelt es sich um ein Programmpaket zur Bearbeitung astronomischer Daten, das von der *Europäischen Südsternwarte (ESO)* kostenlos zur Verfügung gestellt wird. Eine Ausführliche Dokumentation zu MIDAS finden Sie auf den Internetseiten der ESO unter

http://www.hq.eso.org/sci/data-processing/software/esomidas/doc

Eine kurze aber dennoch sehr nützliche Anleitung in deutscher Sprache findet sich auf

http://www.spektros.de/dred/Midas1S.pdf

Die Eingaben des Benutzers erwartet MIDAS in der Regel in einer Kommandozeile. Die MIDAS-Befehle können einzeln eingegeben oder auch zu Skripten (.prg-Dateien) kombiniert werden, die eine automatische Verarbeitung sehr komplexer Befehlsfolgen ermöglichen.

```
              ESO-MIDAS version 09FEBpl1.0 on ganymed
**************************************************************************
**                                                                      **
**       Copyright (C) 1996-2008 European Southern Observatory          **
**                                                                      **
**   ESO-MIDAS comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; for details type      **
**   '@ license w'. This is free software, and you are welcome to       **
**   redistribute it under certain conditions; type '@ license c'       **
**   for details.                                                       **
**                                                                      **
**************************************************************************
```

Abbildung 5.1: Versionsnummer und Copyright-Meldung beim Starten von MIDAS

5.3.1 Grundlegende MIDAS-Syntax

Aufgerufen wird MIDAS durch Eingabe des Befehls `inmidas` (mit anschließender Bestätigung durch ENTER) an der Kommandozeile in einem Terminal (siehe Kap. 5.1). Nach dem Start sollte die in Abbildung 5.1 dargestellte Copyright-Meldung angezeigt werden. Es werden außerdem automatisch ein Fenster für die Darstellung von Bildern (schwarzer Hintergrund) und eines für Diagramme (weißer Hintergrund) geöffnet. Diese Fenster auf keinen Fall durch Anklicken des Kreuzes in der rechten oberen Fensterecke schließen! Sie benötigen diese Fenster, um sich ihre Beobachtungsdaten graphisch anzeigen zu lassen.
Ist MIDAS gestartet worden, ändert sich der Prompt für die Eingabe von Befehlen. Dort erscheint dann der MIDAS-eigene Prompt:

```
Midas 001>
```

Die Zahl hinter „Midas“ wird laufend hochgezählt und gibt daher die Anzahl der von Ihnen eingegebenen Befehle wieder. Sie können auch hier die gewohnten UNIX-Befehle eingeben, indem Sie diesen das Zeichen `$` voranstellen. Falls Sie z. B. die Dateien im aktuellen Verzeichnis angezeigt bekommen möchten, geben Sie folgendes ein:

```
Midas 001> $ ls
```

Midas besitzt einen eigenen Befehlsinterpreter, der eine Vielzahl von Befehlen kennt. Durch Eingabe von `help` können Sie sich einen knappen Überblick über die möglichen Befehle machen. Eine genaue Beschreibung der Funktionsweise eines bestimmten Befehls erhält man durch Anhängen des Befehls an das Kommando `help`. Für die Hilfe zum Befehl `plot` schreibt man also:

```
Midas 002> help plot
```

MIDAS-Befehle bestehen immer aus zwei, mit einem `/` getrennten Worten, wie beispielsweise `plot/row`. Dabei ist `plot` das eigentliche Kommando während man das Anhängsel `row` als „Qualifier“ bezeichnet. Es beeinflusst die Interpretation des Befehls `plot`. Neben dem Qualifier `row` gibt es z. B. für das Kommando `plot` auch den Qualifier `col`. Im ersten Fall wird eine bestimmte Zeile eines Bildes als Diagramm ausgegeben im zweiten Fall eine Spalte. Wenn Sie Hilfe zu einem Kommando samt Qualifier benötigen, geben Sie die gesamte Befehlsfolge hinter `help` an. Also z. B.

```
Midas 003> help plot/row
```

Bei den meisten Befehlen verlangt Midas nach zusätzlichen Parametern. Bei `plot/row` ist es z. B. erforderlich, den Dateinamen einer Bilddatei und die darzustellende Zeile anzugeben. So tippen Sie

```
Midas 004> plot/row meinbild 20
```

ein, wenn Sie die 20. Zeile des Bildes *meinbild* darstellen möchten. Wird kein absoluter Pfad bei der Angabe von Dateinamen eingegeben, bezieht Midas den Dateinamen auf das aktuelle Arbeitsverzeichnis, wie es der Befehl `$ pwd` ausgibt. Sie können dieses Verzeichnis wechseln, indem Sie z. B.

```
Midas 005> change/dir B/Spektren
```

eingeben, um ins Unterverzeichnis *B/Spektren* zu gelangen. Keinesfalls soll man `$ cd` statt `change/dir` benutzen! Beachten Sie außerdem, dass bei Datei- und Verzeichnisnamen Groß- und Kleinschreibung eine Rolle spielen, obwohl es bei den Befehlen diesbezüglich keine Unterscheidung gibt.
Durch Betätigen der Enter-Taste (ohne zuvor eine Befehl einzutippen) erhält man eine Übersicht über die letzten 15 eingegebenen Befehlszeilen. Im Fall der obigen Befehlsfolge also

```
Midas 001> $ ls
Midas 002> help plot
Midas 003> help plot/row
Midas 004> plot/row meinbild 20
Midas 005> change/dir B/Spektren
```

Durch Eingabe der Befehlsnummer lässt sich die Befehlszeile unverändert wiederholen; z. B. würde

```
Midas 006> 1
```

das Kommando `$ ls` ausführen. Falls Sie hinter der Nummer eine Punkt eingegeben, wird die Zeile dargestellt, aber nicht sofort ausgeführt, so dass Sie noch die Möglichkeit haben, Sie zu verändern. Eine weitere sehr nützliche Taste, die das Eingeben von Befehlen erheblich erleichtert ist die TAB-Taste. Damit lassen sich Befehle vervollständigen, wenn Sie deren Anfangsbuchstaben eingegeben haben.
Midas-Skripte – wie z. B. die im Praktikum verwendeten Skripte `phot.prg` und `spec.prg` – ruft man duch zwei vorangestellte `@`-Symbole auf. Die Endung `.prg` kann weggelassen werden.

```
Midas 007> @@ phot
```

Manche Skripte benötigen – wie auch die Midas-Kommandos – Parameter, die Sie direkt beim Aufruf angeben können; z. B.

```
Midas 008> @@ phot Mlv Mlvff Mlb Mlbff Ml
```

Mit den Befehlen `bye` oder `quit` beenden Sie die Midas-Sitzung.

5.3.2 Wichtige Befehle und Datenstrukturen

MIDAS unterscheidet bei Dateien zwischen Aufnahmen, die als Dateien mit der Endung `.bdf` (für *bulk data frames*)abgespeichert werden, und Tabellen mit der Endung `.tbl`. Das Standardformat für Beobachtungsdaten in der Astronomie ist allerdings das FITS-Format (siehe Kap. 5.2). Diese müssen von MIDAS mit dem Befehl `indisk/fits` eingelesen und in eine BDF-Datei umgewandelt werden. Soll z. B. die FITS-Datei `messier001.fit` ins BDF-Format konvertiert werden, lautet der Befehl

```
Midas 001> indisk/fits messier001.fit messier001
```

Dabei wird die Endung `.bdf` automatisch hinzugefügt. Bei der Auswertung der Aufgaben ist es allerdings in der Regel nicht nötig, die Dateien von Hand zu konvertieren, weil das die verwendeten Skripte automatisch erledigen. Neben den Rohdaten, also den von der CCD-Kamera gemessenen Intensitäten, enthalten die Bilddateien eine Vielzahl zusätzlicher Informationen. Diese werden bei BDF-Dateien im sog. *Descriptor* abgelegt. Man kann ihn sich, z. B. für obige Datei `messier001`, mit dem Befehl

```
Midas 002> read/descr messier001
```

anzeigen lassen. Dabei werden nicht alle Informationen angezeigt, sondern nur die wichtigsten. Möchten Sie eine vollständige Auflistung sehen, hängen Sie an das Kommando einen Stern (`*`) an:

```
Midas 003> read/descr messier001 *
```

Um sich die zweidimensionalen Daten einer CCD-Aufnahme graphisch darstellen zu lassen, benötigen Sie ein *display*-Fenster. Mit dem Befehl

```
Midas 004> create/display 0 1530,1020
```

erzeugen Sie ein *display*-Fenster mit der Nummer `0` und einer Auflösung von 1530×1020 Bildpunkten (das entspricht gerade der Auflösung des KAF-1603ME CCD-Chips in der ST-8XME Kamera, siehe Tab. 3.1). Mit

```
Midas 005> load/image messier001
```

können Sie beispielsweise die Datei *messier001.bdf* anzeigen lassen. Eine Falschfarbendarstellung, bei der verschiedene Flusswerte durch unterschiedliche Farben dargestellt werden, kann man durch das Laden einer sog. „Look-Up Table“ (LUT) erhalten. Für die Farbtabelle *heat* lautet der Befehl

```
Midas 006> load/lut heat
```

Anschließend müssen Sie den Befehl zur Darstellung des Bildes erneut aufrufen. Es gibt eine Reihe weiterer vordefinierter LUTs wie etwa `rainbow, staircase, ramp`, die unterschiedliche Farbdarstellungen erzeugen.
Manchmal ist es nötig, genaue Messdaten von einem bestimmten Pixel zu ermitteln. Dazu erzeugen Sie mit

```
Midas 007> get/cursor
```

ein Fadenkreuz, mit dem Sie mit der linken Maustaste in das Bild klicken können. An der Konsole erscheinen dann genaue Positionsinformationen und die zugeordneten Intensitäten. Man verlässt den Cursor-Modus durch Drücken mit der rechen Maustaste. Dabei bleiben die angeklickten Stellen im Bild als kleine Kreuzchen sichtbar. Möchten Sie diese löschen, geben Sie folgenden Befehl ein

```
Midas 008> clear/channel overlay
```

Wie schon im Einführungskapitel 5.3.1 erwähnt, kann man sich horizontale und vertikale Schnitte durch ein Bild im *graphic*-Fenster anzeigen lassen. Ähnlich wie beim *display*-Fenster, müssen Sie dieses Fenster erzeugen, falls es noch nicht existiert.

```
Midas 009> create/graphic
```

Danach können sie den `plot`-Befehl zur Darstellung von eindimensionalen Intensitätsverteilungen verwenden. Auch im *graphic*-Fenster kann man einen Cursor erzeugen, um einzelne Pixeldaten genauer unter die Lupe zu nehmen. Dazu dient der Befehl

```
Midas 009> get/gcursor
```

Ein weiteres wichtiges Datenformat in MIDAS stellt die Tabelle (engl. table) dar. Anders als in FITS- oder BDF-Dateien können die Einträge in einer Tabelle auch nicht-numerische Daten enthalten wie z. B. Objektnamen. Die Daten sind in einer Tabelle in Zeilen „`row`“ und Spalten „`column`“ organisiert. Auf Spalten greift man über den Namen (mit vorangestelltem „`:`“) oder die Nummer (mit vorangestelltem „`#`“) zu. Eine spezielle Zeile referenziert man mit der entsprechenden Zeilennummer und einem „`@`“ davor. Will man also z.B. die Zeilen 1-10 der ersten Spalte in der Tabelle `ngc654` lesen, so lautet der Befehl

```
Midas 010> read/tab ngc654 #1 @1 @10
```

oder falls die erste Spalte den Namen `lambda` hat

```
Midas 011> read/tab ngc654 :lambda @1 @10
```

Auch bei Tabellen kann die Endung des Dateinamens (`.tbl`) weggelassen werden. Detaillierte Informationen über die Art der Daten, die in einer Tabelle abgelegt sind, erhält man mit dem Kommando `show/tab`, also z. B. für die Tabelle `ngc654`

```
Midas 012> show/tab ngc654
```

Dieser Befehl gibt unter anderem die Anzahl der Zeilen und Spalten aus sowie die Namen der Spalten und das Datenformat. Tabellen lassen sich auch in Bilddateien umwandeln, sofern die Spalten numerische Daten enthalten. Die Befehle dazu lauten `conv/tab` oder `copy/ti`, je nachdem wie die Konversion durchgeführt werden soll. Auch der umgekehrte Weg ist möglich. Mit `copy/it` können die Intensitäten aus einer Bilddatei in eine Tabelle kopiert werden.

5.3.3 Photometrie

Im Praktikumsversuch *Farben-Helligkeits-Diagramm eines Sternhaufens* (siehe Kap. 6.2) werden mit Hilfe der CCD-Kamera fotografische Aufnahmen – also zweidimensionale Intensitätsverteilungen – eines offenen Sternhaufens aufgenommen. Zur Auswertung dieser Daten wird das MIDAS-Skript `phot.prg` verwendet. Bevor Sie dieses jedoch aufrufen, sollten Sie sicherstellen, dass sowohl ein *display*-Fenster als auch ein *graphic*-Fenster vorhanden sind. Andernfalls müssen Sie diese erzeugen (siehe Kap. 5.3.2). Außerdem müssen alle Aufnahmen – auch die flat fields – bereits mit Hilfe der dark frames auf den Dunkelstrom korrigiert und ins FITS-Format konvertiert worden sein (siehe Kap. 3.3.4).

Das Skript zur Erstellung des Farben-Helligkeitsdiagramms wird folgendermaßen aufgerufen:

```
@@ phot V-Aufnahme V-ff B-Aufnahme B-ff Ergebnis Positionen Eichsterne
```

Die Übergabeparameter sind

`V-Aufnahme`	Aufnahme des Sternhaufens mit Grünfilter (visuell)
`V-ff`	Flatfield mit Grünfilter
`B-Aufnahme`	Aufnahme des Sternhaufens mit Blaufilter
`B-ff`	Flatfield mit Blaufilter
`Ergebnis`	Name für Ergebnisdateien (ohne Endung)
`Positionen`	Tabelle der Sternauswahl (optional, default: v.tbl)
`Eichsterne`	Tabelle der Eichsterne (optional, default: eich.tbl)

Die beiden letzten Parameter sind optional und dienen dazu, die Datenreduktion wiederholen zu können, ohne sämtliche Daten nochmals eingeben zu müssen. Die Tabellen für die Sternauswahl und die Eichsterne werden beim ersten Aufruf des Programms interaktiv erstellt. Sie können dann ggf. bei erneuten Durchläufen korrigiert werden.
Bevor Sie jedoch die Datenanalyse starten, ist es unumgänglich, dass Sie unter

http://www.univie.ac.at/webda/complete_name.html

genaue Informationen über den betrachteten Sternhaufen einholen. Insbesondere benötigen Sie eine Aufsuchkarte (cluster chart), die es Ihnen ermöglicht, die tatsächlichen Mitglieder des Sternhaufens zu identifizieren und somit Vorder- und Hintergrundsterne auszuschließen. Unter *chart form* haben Sie die Möglichkeit, sich den in Ihren Aufnahmen sichtbaren Bereich anzeigen zu lassen. **Achtung:** Verglichen mit den *cluster charts* sind Ihre Aufnahmen in der Regel verdreht und unter Umständen gespiegelt. Sehr nützlich ist auch die Einstellung einer visuellen Mindesthelligkeit (cut-off magnitude), um sehr schwache Sterne, die auf ihren Aufnahmen nicht erscheinen, von der Darstellung auszuschließen.
Haben Sie eine gute Darstellung gefunden, sollten Sie die Abbildung ausdrucken (der Drucker in Raum LS15-159 hat den Namen „puck“) und auf diesem Ausdruck das Gesichtsfeld Ihrer CCD-Aufnahme einzeichnen. Nach diesen Vorarbeiten können Sie das Programm `phot.prg` wie oben angegeben starten. Im Wesentlichen sind folgende Arbeitsschritte notwendig, um aus den Sternfeldaufnahmen ein Farben-Helligkeits-Diagramm zu erzeugen:

1. Flatfield-Korrektur der Aufnahmen
2. Positionsvermessung der Sterne in einer Aufnahme
3. Bestimmung des Versatzes zwischen den beiden Aufnahmen
4. Integration der Flüsse für die ausgewählten Sterne
5. Umrechnung der Messdaten ins UBV-Filtersystem
6. Darstellung als Farben-Helligkeits-Diagramm

Das Programm `phot.prg` arbeitet diese Schritte der Reihe nach ab und erwartet von Ihnen gewisse Eingaben. Beachten Sie einfach die Anweisungen im Konsole-Fenster.
Im ersten Arbeitsschritt werden Sie aufgefordert, in der V-Aufnahme eine Auswahl von Sternen zu erstellen, für die das Farben-Helligkeits-Diagramm erzeugt werden soll. Die Selektion erfolgt mittels eines kastenförmigen Grafik-Cursors, den Sie mit den Pfeil-Tasten vergrößern oder verkleinern können. Der Kasten sollte so groß sein, dass er die ganze Sternscheibe und auch noch etwas Hintergrund enthält. Das Programm passt dann eine zweidimensionale Gaußverteilung an das Helligkeitsprofil im Kästchen an.

Bei der Markierung ist es sehr zweckmäßig, zeilen- oder spaltenweise vorzugehen und sich die Nummern der ausgewählten Sterne auf dem Ausdruck des *cluster charts* zu notieren. Die Koordinaten und Nummern der ausgewählten Sterne werden im Terminal in einer Tabelle angezeigt. Für eine gute Statistik ist es wichtig, dass Sie nicht nur helle Sterne auswählen, sondern auch die kühleren Sterne mit geringerer Leuchtkraft berücksichtigen. Achten Sie bei der Auswahl auch darauf, dass weder überbelichtete Sterne noch solche, die sich nicht eindeutig in zwei Sterne trennen lassen, markiert werden.
Haben Sie die Markierung abgeschlossen, klicken Sie mit der rechten Maustaste ins *display*-Fenster. Als nächstes wird die B-Aufnahme angezeigt, um den Versatz zwischen beiden Aufnahmen zu bestimmen. Sie müssen hier nur ein paar Sterne auswählen und mit den entsprechenden Sternen in der V-Aufnahme identifizieren. Es wird dann automatisch der mittlere Versatz zwischen beiden Aufnahmen berechnet.
Als nächstes ermittelt das Programm die scheinbaren Helligkeiten der ausgewählten Sterne. Für die Integration wird man aufgefordert, einen Blendenradius einzugeben. Der voreingestellte Radius beträgt 10 Pixel und wird beim Drücken der Enter-Taste ausgewählt. Die Ergebnisse der gemessenen V- und B-Helligkeiten werden tabellarisch im Konsole-Fenster angezeigt. Es kann vorkommen, dass bei einzelnen Sternen Probleme bei der Integration auftreten. Sie erkennen das daran, dass in der entsprechenden Zeile eine Fehlermeldung anstelle der Ergebnisse erscheint. Notieren Sie sich die Nummern der betreffenden Sterne und starten Sie das Programm erneut, um diese aus der Auswahl zu löschen. **Achtung! Bei jedem Löschvorgang verschiebt sich die Nummerierung.** Daher sollten Sie die Löschliste von hinten abarbeiten.
Das mit der ST-8XME Kamera mitgelieferte Filterrad mit RGB-Filtern (siehe Abb. 3.4) entspricht nicht dem in der Photometrie üblicherweise verwendeten UBV-System. Daher müssen die Daten transformiert werden. Die Transformation der photometrischen Daten von verschiedenen Filtersystemen ist in sehr guter Näherung linear. Sie geben daher eine Auswahl von Eichsternen mit den bekannten V- bzw. B-Helligkeiten ein. Sie können die betreffenden Sterne im *cluster chart* anklicken und erhalten dann rechts eine Auflistung der Daten. Suchen Sie sich möglichst isolierte Eichsterne und versuchen Sie einen großen Helligkeitsbereich abzudecken. In der Regel sollten fünf bis zehn Eichsterne ausreichen, um eine gute lineare Anpassung der Filtertransformation durchführen zu können. Die Tabelle der Eichsterne wird gespeichert und steht für einen erneuten Programmdurchlauf zur Verfügung. Sollten bei der oben erwähnten Integration Fehler aufgetreten sein, ist es notwendig, dass Sie das Programm `phot.prg` erneut aufrufen. Leider müssen Sie die Eichsterndaten dann erneut eingeben, da beim Löschen einzelner Sterne aus der Auswahl die Nummerierung geändert wird und daher die Eichsterne nicht mehr korrekt den Sternen in Ihrer Aufnahme zugeordnet werden.

5.3.4 Spektroskopie

Alle für die Auswertung der Spektren erforderlichen Schritte sind in dem MIDAS-Skript `spec.prg` enthalten, welches nach dem Starten von MIDAS folgendermaßen aufzurufen ist:

```
@@ spec Sternspektrum Dark Kalibrationsspektrum Ergebnis alpha beta
```

Die Übergabeparameter sind

`Sternspektrum`	Dateiname der Aufnahme des Sternspektrums
`Dark`	Dateiname des Dark frames; 'no' falls schon abgezogen
`Kalibrationsspektrum`	Dateiname der Wellenlängenkalibrationsaufnahme
`Ergebnis`	Dateiname der Ergebnisdatei (ohne Endung)
`alpha`	Rotationswinkel (optional)
`beta`	Scherwinkel (optional)

Der Dunkelstrom wird beim Aufrufen des Programms bereits von dem Originalspektrum abgezogen. Falls die Aufnahmen bereits dunkelstromkorrigiert sind, muss für '`Dark`' '`no`' eingegeben werden. Der Name der Ergebnisdatei sollte nur Buchstaben, Zahlen, '_' und '-' enthalten. Die Dateiendung ('.fit') ist wegzulassen. In den beiden letzten Parametern geben Sie den Rotations- und Schwerwinkel zur Korrektur der Daten an. Es handelt sich dabei um optionale Parameter, die beim ersten Aufruf des Programms bestimmt werden. Sollten Sie hinterher mit den Ergebnissen nicht zufrieden sein, können Sie das Programm erneut aufrufen und die beiden Parameter angeben. Bei einem erneuten Aufruf des Programms wird geprüft, ob die rotierten (`wlcrot.bdf`, `specrot.bdf`) und gescherten Spektren (`wlcshift.bdf`, `specshift.bdf`) schon vorhanden sind. Dann werden die beiden ersten der unten aufgeführten Schritte zur Datenreduktion übersprungen. Falls Sie ein Spektrum erstmals bearbeiten, müssen Sie diese Schritte unbedingt durchführen.

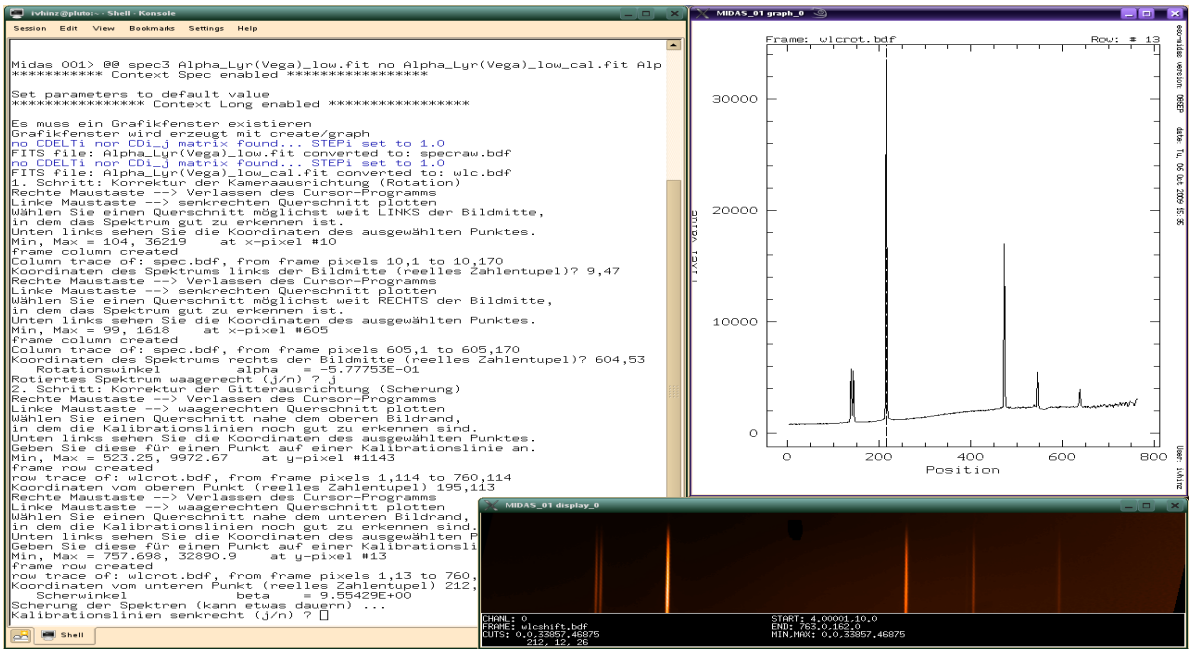
Midas 001> @@ spec3 Alpha_Lyr(Vega)_low.fit no Alpha_Lyr(Vega)_low_cal.fit Alp
Set parameters to default value
Es muss ein Grafikfenster existieren
Grafikfenster wird erzeugt mit create/graph
FITS file: Alpha_Lyr(Vega)_low.fit converted to: specraw.bdf
FITS file: Alpha_Lyr(Vega)_low_cal.fit converted to: wlc.bdf
1. Schritt: Korrektur der Kameraausrichtung (Rotation)
Rechte Maustaste --> Verlassen des Cursor-Programms
Linke Maustaste --> senkrechten Querschnitt plotten
Wählen Sie einen Querschnitt möglichst weit LINKS der Bildmitte,
in dem das Spektrum gut zu erkennen ist.
Unten links sehen Sie die Koordinaten des ausgewählten Punktes.
Min, Max = 104, 36219 at x-pixel #10
frame column created
Column trace of: spec.bdf, from frame pixels 10,1 to 10,170
Koordinaten des Spktruns links der Bildmitte (reelles Zahlentupel)? 9,47
Rechte Maustaste --> Verlassen des Cursor-Programms
Linke Maustaste --> senkrechten Querschnitt plotten
Wählen Sie einen Querschnitt möglichst weit RECHTS der Bildmitte,
in dem das Spektrum gut zu erkennen ist.
Unten links sehen Sie die Koordinaten des ausgewählten Punktes.
Min, Max = 99, 1618 at x-pixel #605
frame column created
Column trace of: spec.bdf, from frame pixels 605,1 to 605,170
Koordinaten des Spektrums rechts der Bildmitte (reelles Zahlentupel)? 604,53
Rotationswinkel alpha = -5.77753E-01
Rotiertes Spektrum waagerecht (j/n) ? j
2. Schritt: Korrektur der Gitterausrichtung (Scherung)
Rechte Maustaste --> Verlassen des Cursor-Programms
Linke Maustaste --> waagerechten Querschnitt plotten
Wählen Sie einen Querschnitt nahe dem oberen Bildrand,
in dem die Kalibrationslinien noch gut zu erkennen sind.
Unten links sehen Sie die Koordinaten des ausgewählten Punktes.
Geben Sie diese für einen Punkt auf einer Kalibrationslinie an.
Min, Max = 523.25, 9972.67 at y-pixel #1143
frame row created
row trace of: wlcrot.bdf, from frame pixels 1,114 to 760,114
Koordinaten vom oberen Punkt (reelles Zahlentupel) 195,113
Rechte Maustaste --> Verlassen des Cursor-Programms
Linke Maustaste --> waagerechten Querschnitt plotten
Wählen Sie einen Querschnitt nahe dem unteren Bildrand,
in dem die Kalibrationslinien noch gut zu erkennen sind.
Unten links sehen Sie die Koordinaten des ausgewählten P
Geben Sie diese für einen Punkt auf einer Kalibrationsli
Min, Max = 757.698, 32890.9 at y-pixel #13
frame row created
row trace of: wlcrot.bdf, from frame pixels 1,13 to 760,
Koordinaten vom unteren Punkt (reelles Zahlentupel) 212,
Scherwinkel beta = 9.55429E+00
Scherung der Spektren (kann etwas dauern) ...
Kalibrationslinien senkrecht (j/n) ?
MIDAS_01 graph_0
Frame: wlcrot.bdf
Row: # 13
30000
20000
10000
0
0
200
400
600
800
Position
MIDAS_01 display_0
CHANL: 0
FRAME: wlcshift.bdf
CUTS: 0.0,33857.46875
212, 12, 26
START: 4.00001,10.0
END: 763.0,162.0
MIN,MAX: 0.0,33857.46875

Abbildung 5.2: Bearbeitung von Spektren mit dem MIDAS-Skript `spec.prg`. links: Konsole, rechts oben: *graphic*-Fenster, rechts unten: *display*-Fenster

Nach dem Start des MIDAS-Skripts, sollten drei Fenster auf dem Bildschirm erscheinen (siehe Abb. 5.2). In der Konsole werden nun Schritt-für-Schritt-Aufforderungen angezeigt, welche Sie mit kurzen erläuternden Kommentaren durch die verschiedenen Korrekturen der

Aufnahmen führen. Im *display*-Fenster (im Beispiel unten rechts) werden die Aufnahmen der aktuell zu bearbeitenden Spektren dargestellt, während im *graphic*-Fenster (oben rechts) die um eine Dimension reduzierten Spektren (Querschnitt, Mittelwert oder Integration) angezeigt werden.

1. Schritt: Korrektur der Kameraausrichtung (Rotation)

Im *display*-Fenster erscheint das Spektrum des Sterns (Abb. 5.3, unten). Die Dispersionsrichtung liegt deutlich erkennbar NICHT parallel zur x-Achse, sondern leicht schräg dazu. Diese Schräglage rührt daher, dass die CCD-Kamera leicht gegenüber der Dispersionsrichtung des Spektrographen gedreht ist. Dieser Effekt ist bei der Durchführung der Aufnahmen kaum zu vermeiden, lässt sich aber im Nachhinein korrigieren.

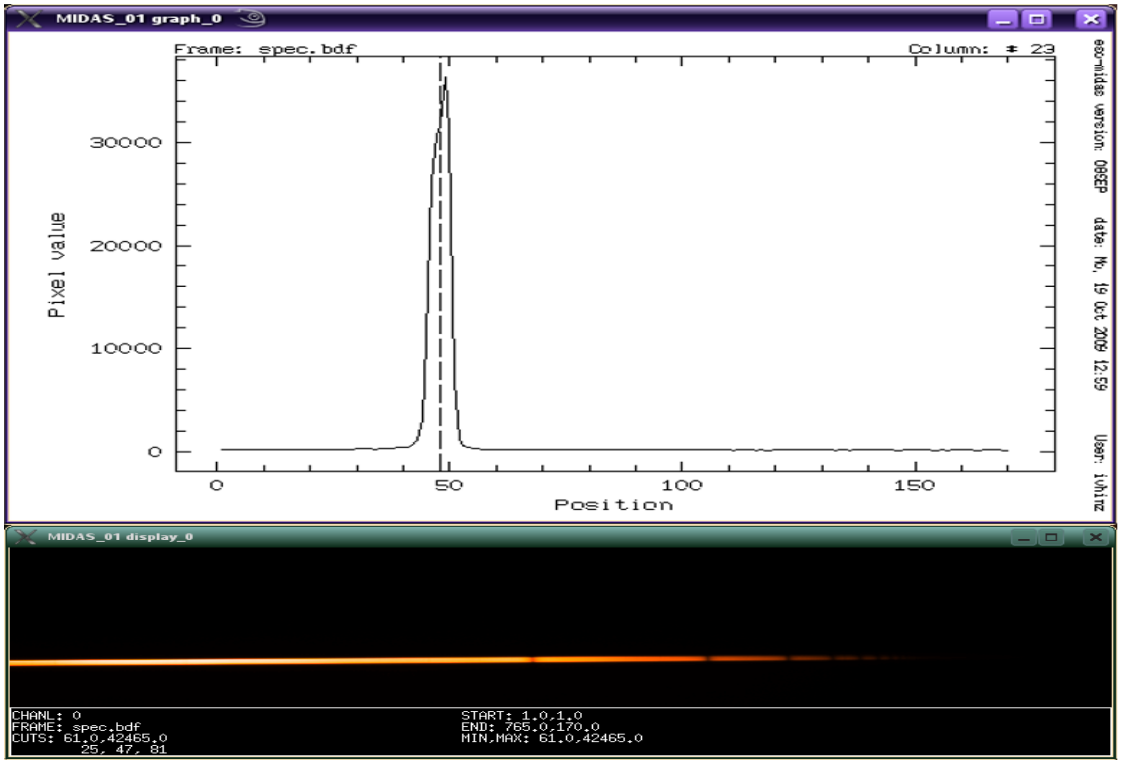

Abbildung 5.3: Sternspektrum zur Korrektur der Kameraausrichtung. unten: Helligkeitsverteilung auf dem CCD-Chip, oben: Querschnitt durch den ausgewählten x-Achsenwert.

Man wird zunächst aufgefordert, möglichst weit links der Bildmitte die Koordinaten des Intensitätsmaximums anzugeben. Das *display*-Fenster bietet Ihnen die Möglichkeit die Pixelwerte für bestimmte Positionen zu ermitteln, indem Sie den Mauscursor an eine Position in das Fenster fahren. Unten links im *display*-Fenster erscheint dann eine Zeile mit den entsprechenden Daten. Zusätzlich wird bei einem Linksklick auf eine Position im *display*-Fenster ein Querschnitt durch den ausgewählten x-Achsenwert im *graphic*-Fenster (Abb. 5.3, oben) angezeigt. Die gestrichelte Linie zeigt den gewählten y-Wert an. So lässt sich die Mitte des Peaks sehr genau bestimmen, sofern das Spektrum an der gewählten Stelle noch gut zu erkennen ist und nicht nahezu im Rauschen verschwindet. Mit der rechten Maustaste wird das Cursor-Programm beendet und man kehrt ins Eingabefenster zurück. Hier muss nun die gewählte Position als Zahlentupel durch ein Komma getrennt angegeben werden. (Achtung: im Displayfenster werden die Koordinaten der Position angezeigt, an der sich der Cursor beim Verlassen des Cursor-

Modus befunden hat, nicht unbedingt die der ausgewählten Position.) Das Verfahren wird für die rechte Seite des Spektrums wiederholt.

Aus den Angaben berechnet das Programm den Rotationswinkel `alpha`, gibt ihn aus und korrigiert die Spektren. Das korrigierte Sternspektrum wird zur Bestätigung angezeigt, bevor der nächste Korrekturschritt beginnt.

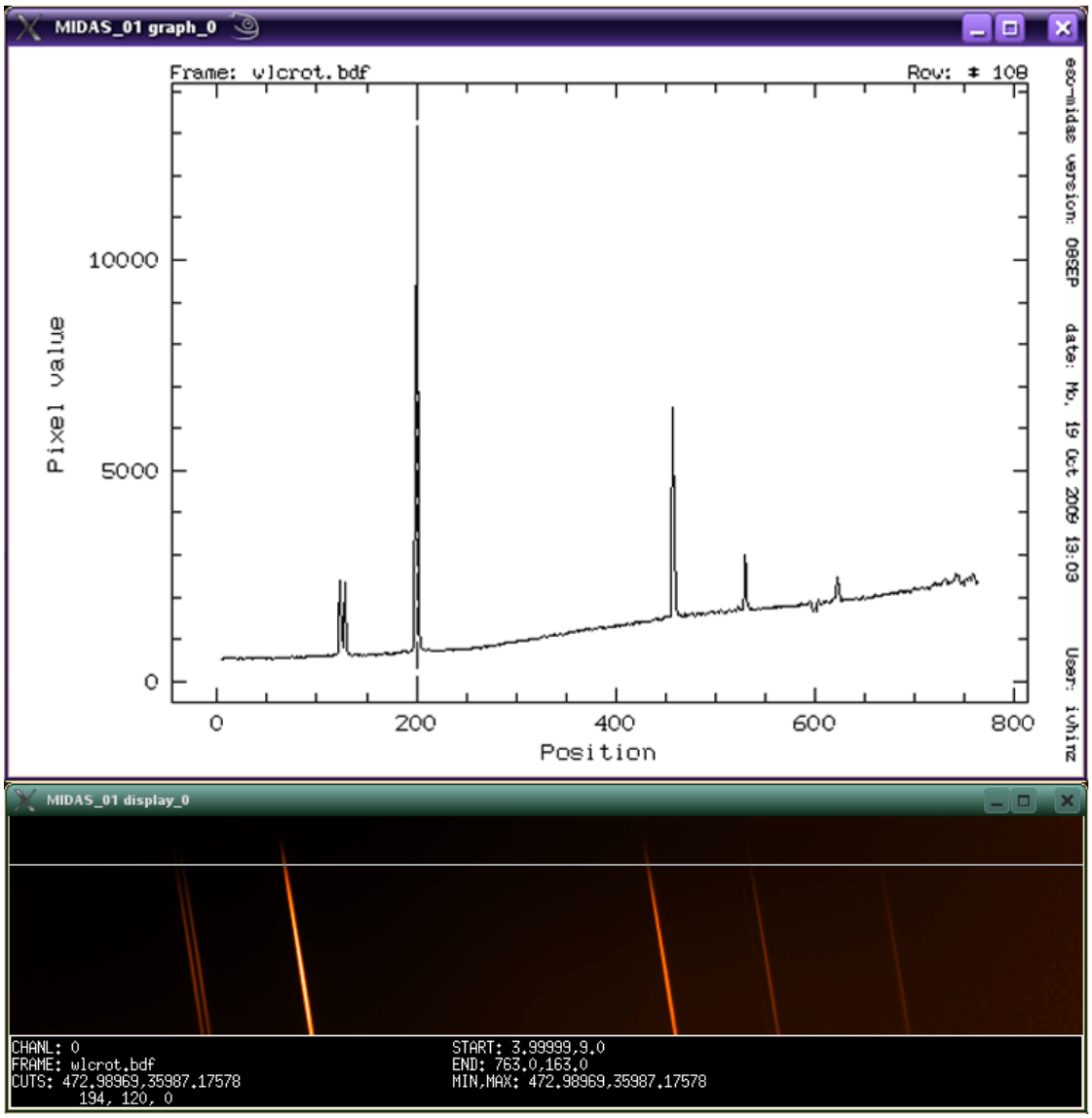

Abbildung 5.4: Kalibrationsspektrum zur Korrektur der Gitterausrichtung. unten: Helligkeitsverteilung auf dem CCD-Chip, oben: Querschnitt durch den ausgewählten y-Achsenwert.

2. Schritt: Korrektur der Gitterausrichtung (Scherung)

Das Kalibrationsspektrum erscheint im *display*-Fenster (Abb. 5.4, unten). In der Regel wird das Spektrum schräg auf dem CCD abgebildet. In diesem Fall zeichnet die Stellung des Eintrittsspalts zum Gitter des Spektrographen verantwortlich für den Effekt. Um ihn zu korrigieren, muss nun - ähnlich der Rotations-Korrektur - eine Spektrallinie ausgewählt und ihre Position oben und unten am Bildrand angegeben werden. Bei Linksklick im *display*-Fenster wird diesmal ein Querschnitt in x-Richtung im *graphic*-Fenster angezeigt (Abb. 5.4, oben).

Auch hier wird das Ergebnis am Beispiel des Kalibrationsspektrums zur Kontrolle angezeigt, nachdem der Scherwinkel `beta` berechnet und ausgegeben worden ist. Wie eingangs erwähnt (siehe S. 44), können Sie die Ergebnisse bis zu diesem Schritt reproduzieren, indem Sie beim Aufruf des Programms `spec.prg` die Winkel `alpha` und `beta` als Zahlenwerte mitangeben.

3. Schritt: Bestimmung und

4. Schritt: Subtraktion des Himmelshintergrunds

Im *graphic*-Fenster ist nun das räumliche Helligkeitsprofil des Sternspektrums (senkrecht zur Dispersionsrichtung) zu sehen (Abb. 5.5).

Bevor Sie mit der Auswertung fortfahren, schätzen Sie ab, ob Sie ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis (engl. signal-to-noise ratio, SNR) haben. Vergleichen Sie dazu die Pixelwerte des Signalmaximums mit denen des Hintergrunds links und rechts des Peaks. Nun müssen Bereiche definiert werden, in denen der Himmelshintergrund liegt. Dazu geben Sie (durch Linksklicks im *graphic*-Fenster) links und rechts vom Peak jeweils ein Paar von x-Positionen an. (Achtung: jeder Linksklick wird sofort eingelesen) Um den Bereich des Signals zu markieren, wählen Sie nun ein x-Intervall, welches den Peak begrenzt.

Ist die Auswahl beendet, wird der Hintergrund vom Sternspektrum abgezogen. Anschließend wird ein neues Sternspektrum erzeugt, indem die Helligkeitswerte über den in Schritt 4 gewählten räumlichen Bereich aufsummiert werden.

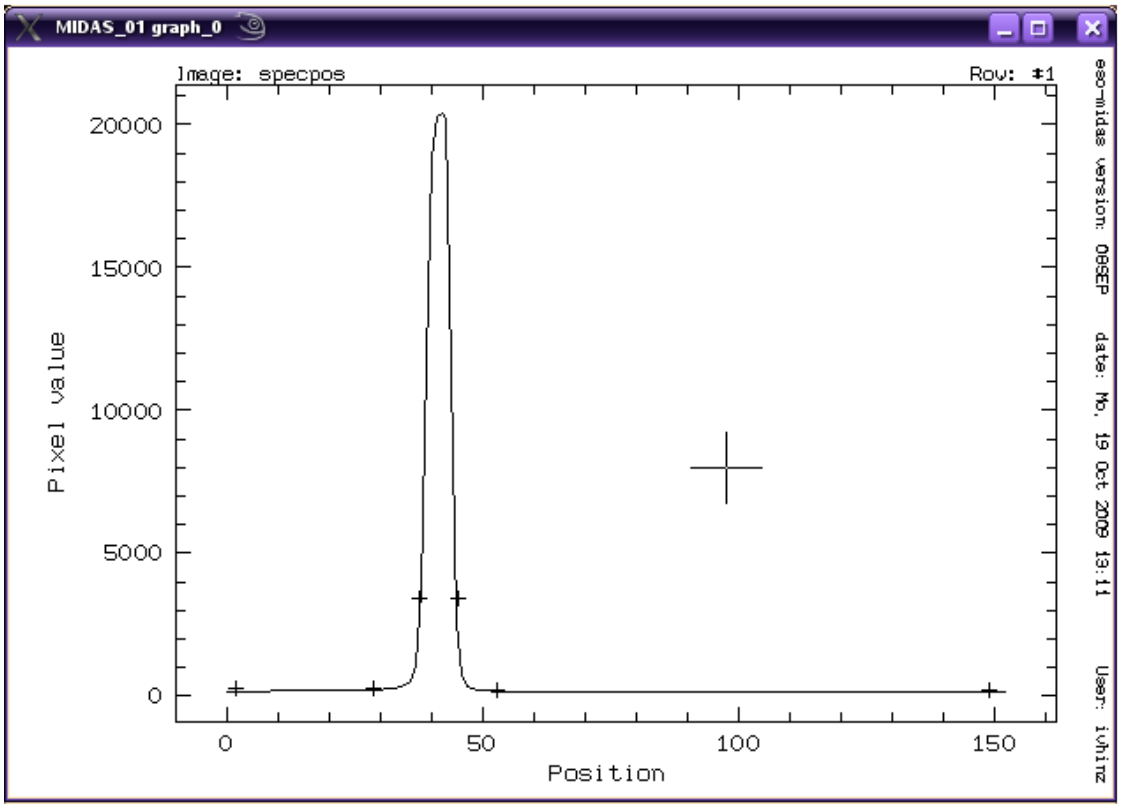

Abbildung 5.5: Räumliches Helligkeitsprofil des Sternspektrums zur Bestimmung und Subtraktion des Himmelshintergrunds. Es sind die drei benötigten Intervalle ausgewählt.

5. Schritt: Wellenlängenkalibration

Im nächsten Schritt muss das Sternspektrum wellenlängenkalibriert werden. Im *graphic*-Fenster wird dazu das über den in Schritt 4 gewählten räumlichen Bereich gemittelte Kalibrationsspektrum dargestellt (Abb. 5.6, links). Hier muss nun per Linksklick die Lage zweier (vorzugsweise weit auseinanderliegender) bekannter Spektrallinien angegeben werden. Beachten Sie, dass bei den CCD-Aufnahmen am linken Bildrand die hohen Wellenlängen liegen und am rechten Bildrand die niedrigen. Im Vergleich zu den Kalibrationsspektren in den Abb. 4.3 bis 4.8 werden sie also gespiegelt angezeigt.

Nachdem Sie zwei Linien grob markiert haben, werden diese nacheinander im Detail angezeigt. Versuchen Sie in diesen Aufnahmen die Mitten der beiden Kalibrationslinien möglichst genau zu markieren. Anschließend werden Sie aufgefordert die exakten Werte für deren Wellenlängen (in Å) einzugeben. Daraus berechnet das Programm die reziproke Dispersion (Å/pixel) sowie den Nullpunkt der Wellenlängenskala und transformiert das Sternspektrum entsprechend.

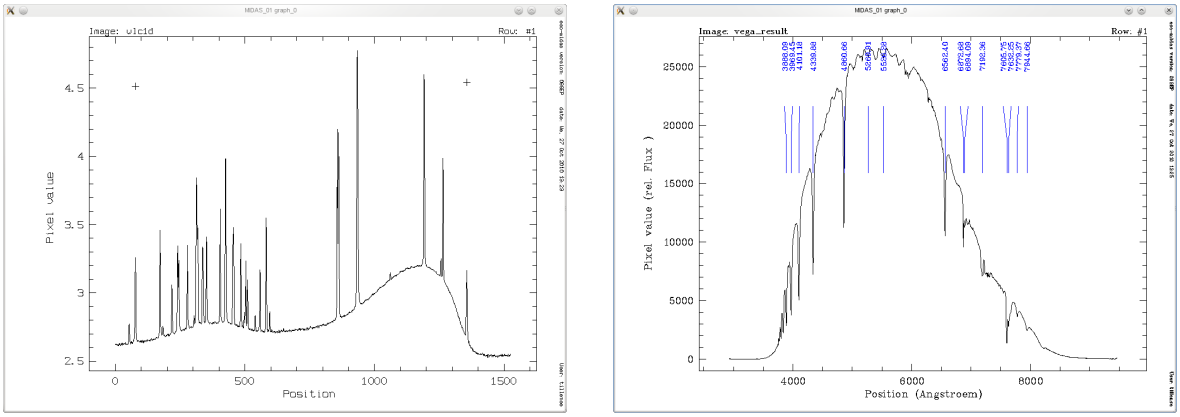

Abbildung 5.6: *Links:* Spektrum zur Wellenlängenkalibration in niedriger Dispersion mit zwei ausgewählten Linien (vergleiche Abb. 4.3). *Rechts:* Kalibriertes Sternspektrum zur Kontrolle und/oder Nachkalibration.

Zur Kontrolle wird das skalierte Sternspektrum im *graphic*-Fenster angezeigt (Abb. 5.6, rechts). Anschließend wird eine automatische Identifikation der Absorptionslinien durchgeführt. Dazu müssen Sie als Parameter Schwellwerte für Linientiefe und -breite angeben. Linien mit einer geringeren Tiefe und/oder größeren Breite werden von der Suche ausgenommen.

Versuchen Sie einige der identifizierten Absorptionslinien zuzuordnen. Je nach Spektralklasse sollten Sie einige typische Linien (wie z. B. die Balmerserie) erkennen können. Sie können dann anhand der von ihnen zugeordneten Linien das Sternspektrum nochmals feinjustieren. Dies geschieht auf die oben beschriebene Weise, diesmal allerdings nutzen sie die Absorptionslinien des Sternspektrum anstelle der Kalibrationslinien der Hg-Ar-Lampe. Dieser Schritt kann solange wiederholt werden, bis Sie mit dem Ergebnis zufrieden sind. Es ist allerdings zu bedenken, dass die erreichbare Genauigkeit durch die Pixelgröße und die spektrale Auflösung des Spektrographen beschränkt ist (vgl. Tab. 4.1.

6. Schritt: Flusskorrektur und Auswahl des darzustellenden Bereiches

Nach Beendigung der Wellenlängenkalibration wird das Sternspektrum durch ein Korrekturspektrum dividiert. Dadurch werden die wellenlängenabhängige Empfindlichkeit des CCD-Chips (siehe Kap. 3.4.2) und die Streuung des Lichts in der Erdatmosphäre ausgeglichen. Am kurzwelligen Rand des Korrekturspektrums wird dabei durch sehr kleine Werte und auch durch 0 dividiert, wodurch dieser Teil des Sternspektrums unphysikalisch wird und von der Ergebnisdarstellung abgetrennt werden muss (Abb. 5.7, links).

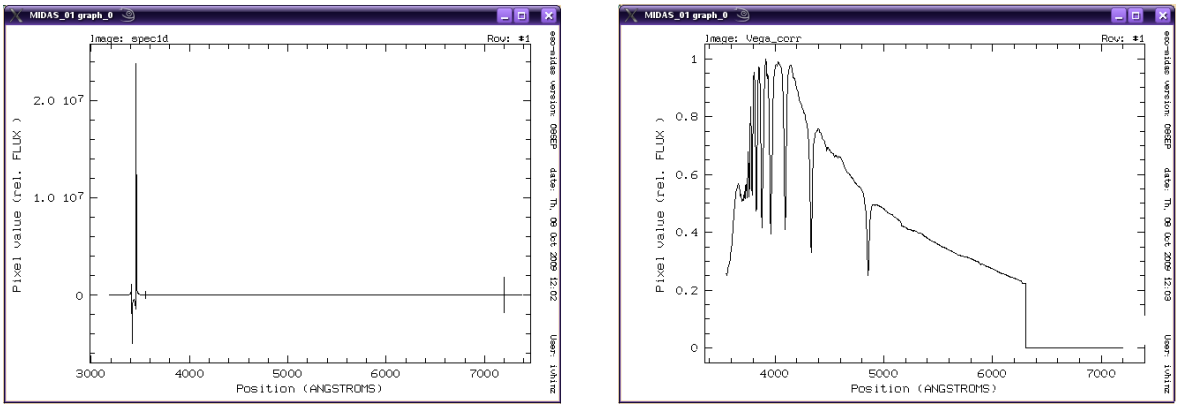

Abbildung 5.7: Flusskorrigiertes Sternspektrum zur Auswahl des Ausgabebereiches. *Links:* Der Ausschlag am kurzwelligen Ende des Spektrums bewirkt eine Skalierung, bei welcher das eigentliche Spektrum nicht mehr zu erkennen ist. *Rechts:* Nach Entfernen des kurzwelligen Endes ist das eigentliche Spektrum zu erkennen, weist aber im langwelligen Bereich eine Kante auf, die ebenfalls nicht physikalischen Ursprungs ist.

Auch am langwelligen Ende des Sternspektrums entsteht bei der Division eine unphysikalische Störung, denn Korrektur- und Sternspektrum umfassen im Allgemeinen nicht dieselbe Bandbreite von Wellenlängen (Korrekturspektrum: $3200 - 7200\,\text{Å}$) (Abb. 5.7, rechts).

Im *graphic*-Fenster muss also wieder der Bereich des Spektrums ausgewählt werden, der noch sinnvoll ist. Nach jeder Auswahl wird das Ergebnis angezeigt und darf wie gewohnt so oft verbessert werden, wie es notwendig erscheint.

Schließlich werden sämtliche Korrekturparameter noch einmal ausgegeben. Es wird jeweils eine Postscript-Datei des Spektrums ohne und mit Flusskorrektur erzeugt. Die Namen dieser Dateien werden ebenfalls ausgegeben.

Kapitel 6

Aufgaben

6.1 Übersicht

Teil A: Visuelle Beobachtungen

A1: Aufsuchen von Himmelsobjekten
A2: Gesichtsfeldmessung
A3: Bestimmung des Auflösungsvermögens

Teil B: Systemeigenschaften der CCD-Kamera

B1: Bias und Ausleserauschen
B2: Dunkelstrom
B3: Linearität

Teil C: Aufnahmen mit der CCD-Kamera

C1: Langbelichtete Aufnahme eines beliebigen Himmelsobjekts
C2: Mond- oder Planetenaufnahme mit hoher Auflösung

Teil D: Photometrische Aufgaben

(Auswahl einer Aufgabe!)
D1: Farben-Helligkeits-Diagramm eines Sternhaufens
D2: Lichtkurve eines veränderlichen Sterns

Teil E: Aufnahme von Sternspektren

Teil F: Spektralanalyse des Sternes „BD+33 ° 2642“

F1: Bestimmung der Sternparameter T_{eff} und $\log g$
F2: Bestimmung von Elementhäufigkeiten

Die Praktikanten seien ermutigt, auch eigene Ideen einzubringen, die dann nach Rücksprache mit den Betreuern ausprobiert werden können.

6.2 Versuchsbeschreibungen

Teil A: Visuelle Beobachtungen

Vorbereitung: Kapitel 2
Hinweis: Für die visuellen Beobachtungen und Messungen sollten nicht mehr als zwei Nächte verwendet werden.

A1: Aufsuchen von Himmelsobjekten

Um sich mit dem Teleskop und auch dem NGC-MAX (siehe Kap. 2.5) vertraut zu machen, sollte man zunächst das Teleskop auf ein beliebiges Himmelsobjekt ausrichten und dieses dann visuell beobachten. Hierzu bieten sich Mond, Planeten und Nebel (mit NGC-MAX) an. Interessante (aktuelle) Objekte findet man unter anderem in folgender Literatur (siehe Astro-Bibliothek):

- Sterne und Weltraum
- Das Himmelsjahr
- Ahnerts Kalender für Sternfreunde
- http://news.astronomie.info

A2: Gesichtsfeldmessung

Das Gesichtsfeld des optischen Systems lässt sich abschätzen, indem man die Zeit misst, die ein Stern benötig, um das Gesichtsfeld vollständig zu durchlaufen. Dazu sollte ein Stern nahe des Himmelsäquators gewählt werden und mit Hilfe des Fadenkreuzokulars im Gesichtsfeld zentriert werden.
Zur Messung wird die Nachführung ausgeschaltet. Anschließend wird der Stern mit der Rektaszensionsbewegung über den Handtaster leicht außerhalb des Gesichtsfeldes positioniert. Zu messen sind die Zeiten des Eintritts und des Austritts aus dem Gesichtsfeld. Wichtig ist, dass der Stern möglichst durch die Mitte des Gesichtsfelds läuft! Diese Messung ist durchzuführen für den RC-Fokus mit 42 mm-Okular am Hauptfernrohr und für das 15 mm-Okular am Leitfernrohr.

- Es sind jeweils mindestens drei Messungen vorzunehmen und der statistische Fehler zu ermitteln.
- Warum sollte ein Stern in der Nähe des Himmelsäquators gewählt werden?
- Wie wirkt sich die Brennweite des Okulars auf die Größe des Gesichtsfeldes aus?

A3: Bestimmung des Auflösungsvermögens

Das Auflösungsvermögen des optischen Systems soll durch Beobachtung enger Doppelsterne bestimmt werden. Dazu sind geeignete Doppelsterne aus Tabelle 6.1 zu wählen und zu beobachten. Der Abstand des gerade noch zu trennenden Sternenpaars gibt dann eine Abschätzung für das Auflösungsvermögen.

- Welches Auflösungsvermögen ergibt sich theoretisch?
- Welche Faktoren beeinflussen das tatsächliche Auflösungsvermögen?

Name	RA	Dec	Helligkeit	Distanz	Pos.winkel	Datum	Periode
	2000		mag	arcsec	deg		yrs
λ Cas	00 31.8	+54 31	5.5+5.8	0.13	218.2	2010	536.47
65 Psc	00 49.9	+27 43	6.3+6.3	4.6	297	1987	
36 And	00 55.0	+23 28	6.0+6.4	1.06	323.4	2010	167.71
γ Ari	01 53.5	+19 18	4.8+4.8	7.5	0	1988	
α Psc	02 02.0	+02 46	4.2+5.2	1.77	264.6	2010	933.0
6 Tri	02 12.4	+30 18	5.3+6.9	4.0	70	1994	
ϵ Ari	02 59.2	+21 20	5.2+5.5	1.37	162.1	2010	1215.91
32 Eri	03 54.4	-02 57	4.8+6.1	6.8	347	1984	
1 Cam	04 32.0	+53 55	5.7+6.8	10.3	308	1984	
η Ori	05 24.5	-02 24	3.8+4.8	0.02	124.8	2010	9.442
118 Tau	05 29.3	+25 09	5.8+6.6	4.8	206	1984	
52 Ori	05 48.0	+06 27	6.1+6.1	1.3	217	1990	
41 Aur	06 11.6	+48 43	6.3+7.0	7.6	357	1982	
12 Lyn	06 46.2	+59 27	5.4+6.0	1.88	68.3	2010	907.6
α Gem	07 34.6	+31 53	1.9+2.9	4.73	56.48	2010	444.95
ζ Cnc ABxC	08 12.2	+17 39	5.1+6.2	5.92	339.29	2010	1115
ζ Cnc AxB			5.6+6.0	1.07	206.7	2010	59.58
24 Cnc	08 26.7	+24 32	7.0+7.8	5.7	50	1987	
φ^2 Cnc	08 26.8	+26 56	6.3+6.3	5.1	216	1983	
57 Cnc	08 54.2	+30 35	6.0+6.5	1.5	312	1982	
ω Leo	09 28.5	+09 03	5.9+6.5	0.76	104.3	2010	118.23
γ Leo	10 20.0	+19 51	2.2+3.5	7.19	146.98	2010	510.3
ξ UMa	11 18.2	+31 32	4.3+4.8	1.61	203.9	2010	59.88
90 Leo	11 34.7	+16 48	6.0+7.3	3.4	208	1986	
γ Vir	12 41.7	-01 27	3.5+3.5	1.6	18.42	2010	169.1
π Boo	14 40.7	+16 25	4.9+5.8	5.6	109	1988	
ζ Boo	14 41.1	+13 44	4.5+4.5	0.51	293.27	2010	122.98
39 Boo	14 49.7	+48 43	6.2+6.9	2.9	45	1992	
44 Boo	15 03.8	+47 39	5.3+6.2	1.5	60.6	2010	206
η CrB	15 23.2	+30 17	5.6+5.9	0.63	176.76	2010	41.556
μ^2 Boo	15 24.5	+37 21	7.0+7.6	2.25	4.9	2010	257
δ Ser 15	34.8	+10 32	4.2+5.2	3.99	172.58	2010	1038
ζ CrB	15 39.4	+36 38	5.1+6.0	6.3	305	1978	
σ CrB	16 14.7	+33 52	5.6+6.6	7.13	237.6	2010	726
λ Oph	16 30.9	+01 59	4.2+5.2	1.45	37.93	2010	129
17 Dra	16 36.2	+52 55	5.4+6.4	3.3	106	1983	
20 Dra	16 56.4	+65 02	7.1+7.3	1.16	67.22	2010	422.22
μ Dra	17 05.3	+54 28	5.7+5.7	2.39	5.12	2010	672
ϱ Her	17 23.7	+37 09	4.6+5.6	4.2	317	1980	
95 Her	18 01.5	+21 36	5.0+5.1	6.2	258	1987	
70 Oph	18 05.5	+02 30	4.2+6.0	5.83	130.36	2010	88.38
ϵ^1 Lyr	18 44.3	+39 40	5.0+6.1	2.63	354.6	2010	1725
ϵ^2 Lyr	18 44.4	+39 37	5.2+5.5	2.38	77.47	2010	724.3
π Aql	19 48.7	+11 49	6.1+6.9	1.4	108	1992	
γ Del	20 46.7	+16 07	4.5+5.5	9.05	265.3	2010	3249
ζ Aqr	22 28.8	-00 01	4.3+4.5	2.16	170.1	2010	486.7

Tabelle 6.1: Liste von Doppelsternen zur Bestimmung des Auflösungsvermögens

Teil B: Systemeigenschaften der CCD-Kamera ST-8XME

Vorbereitung: Kapitel 3 ohne die Abschnitte 3.2, 3.3.2, 3.3.5); informieren Sie sich über CCD-Fotosensoren, Ausleserauschen, Dunkelstrom, Bias, Hot-Pixel
Bei dem CCD der ST-8XME-Kamera handelt es sich um den Typ KAF-1603ME (siehe Kap.3) mit 1530 x 1020 = 1560600 unabhängigen Detektoren (Pixel). Die A/D-Auflösung beträgt 16 Bit, was 65536 Helligkeitsstufen entspricht. Zur Bestimmung der Pixelwerte empfiehlt sich die Histogrammfunktion im Menü Display des Programms CCDOps.

B1: Bias und Ausleserauschen („Readout noise“)

Nehmen Sie ein Dunkelbild (dark frame) mit einer Belichtungszeit auf, die so kurz ist, dass der Dunkelstrom vernachlässigbar ist (etwa 0,12 sec)!

- Wie sieht das Bild aus? Gibt es „schlechte“ Pixel?
- Wie groß ist das Rauschen?
- Wie verteilen sich die Pixel auf die Helligkeitswerte (Histogramm)?

B2: Dunkelstrom („ Dark current“):

Erzeugen Sie lang belichtete Dunkelbilder ($\sim$ 1 min bis 10 min) für verschiedene Temperaturen im Bereich zwischen 0 °C und 25 °C und notieren Sie sich die mittlere Helligkeit der Aufnahmen (mit Fehler)!

- Stellen Sie die Temperaturabhängigkeit des Dunkelstroms grafisch dar!
- Welcher funktionale Zusammenhang besteht?
- Passen Sie eine geeignete Kurve an die Datenpunkte an!
- Welche Parameter ergeben sich? Fehler angeben!

B3: Linearität

Für die Bestimmung von Helligkeiten (Photometrie) ist es wichtig zu wissen, bis zu welcher Beleuchtungsstärke der Zusammenhang zwischen Anzahl der auf dem CCD-Fotosensor auftreffenden Photonen und den gemessenen Helligkeiten (ADU) linear ist. Dazu nehmen Sie eine möglichst gleichmäßig beleuchtete Fläche direkt mit der CCD-Kamera auf. Die Belichtung eines solchen Weißbildes (flat field) erfolgt ohne Optik vor dem CCD-Chip. Es steht dazu ein Schuhkarton mit einer Glühlampe bereit, die sich abdecken lässt, so dass die Strahlung möglichst diffus ist.
Die Signalstärke wird nun allein durch Änderung der Belichtungszeit variiert. Alle übrigen Versuchsparameter müssen unbedingt konstant gehalten werden! Während der Messung darf weder die Versuchsanordnung noch die Helligkeit der Lichtquelle verändert werden. Um Verfälschungen durch eventuelles Streulicht zu vermeiden, ist es besser, den Versuch in einem abgedunkelten Raum durchzuführen. Notieren Sie auch hier die mittlere Helligkeit der Aufnahmen (mit Fehler).

- Stellen Sie die Messdaten grafisch dar!
- Bis zu welchem Helligkeitswert ist der Zusammenhang linear?
- Zeichnen Sie für diesen Bereich eine Ausgleichsgerade in das Diagramm!

Teil C: Aufnahmen mit der CCD-Kamera

Vorbereitung: Kapitel 2 und 3
Hinweise:

- Grundsätzlich sollte bei jeder CCD-Beobachtung die Aufnahme von Weißbildern (flat fields) (siehe Kap. 3.4.1) in jedem der verwendeten Filterbereiche erfolgen! Hierzu sind Aufnahmen des hellen Dämmerungshimmels oder der erleuchteten Kuppelinnenwand geeignet. Dabei ist auf ausreichende Signalstärke ($> 5000\,\mathrm{ADU}$) zu achten, ohne dass die Aufnahmen überbelichtet sind.
- Bei allen Praktikumsaufnahmen mit der CCD-Kamera müssen die einzelnen Schritte der Bildverarbeitung im Protokoll genau beschrieben werden.
- Begründen Sie bei Farbaufnahmen die Wahl der Belichtungszeiten in den einzelnen Filtern (siehe Kap. 3.4.2)!

C1: Aufnahme eines beliebigen Himmelsobjektes

Geeignete Objekte sind z. B. offene Sternhaufen oder Kugelsternhaufen, Nebel und Galaxien. Es sollte eine langbelichtete Aufnahme sein, die eine automatische Nachführung erfordert (siehe Kap. 3.3.5).

C2: Mond- oder Planetenaufnahme mit hoher Auflösung (optional)

Aufnahme eines Planeten oder eines Teils der Mondoberfläche im Cassegrain-Fokus (siehe Kap. 2.4.1). Man führe hierzu eine ganze Aufnahmeserie durch, aus der die schärfsten Bilder herausgesucht und anschließend im Rechner überlagert werden.

Teil D: Photometrische Aufgaben

Vorbereitung: Kapitel 3 und 5.3.3

D1: Farben-Helligkeits-Diagramm eines Sternhaufens

Für diese Aufgabe sollen Aufnahmen eines offenen Sternhaufens mit unterschiedlichen Filtern gewonnen werden. Diese Aufnahmen werden später photometrisch ausgewertet und es wird ein Farben-Helligkeits-Diagramm erstellt. Darin trägt man die scheinbare (visuelle) Helligkeit (für Sterne in gleicher Entfernung ein Maß für die Leuchtkraft) gegen den Farbindex – also die Differenz zweier Helligkeiten gemessen mit verschiedenen Filtern – als Maß für die Effektivtemperatur der Sterne auf.
Sie müssen also mindestens zwei CCD-Aufnahmen eines offenen Sternhaufens mit unterschiedlichen Filtern machen. In der Regel kommen hier der blaue (B für „blue“) und der grüne Filter (V für „visual“ bzw. G für „green“ im RGB-Filtersystem) zum Einsatz. Es hat sich allerdings gezeigt, dass diese Kombination im Fall des im Praktikum verwendeten RGB-Filtersystems keine guten Resultate liefert. Die Ursache dafür liegt in der Überlappung der Transmissionskurven von grünem und blauem Filter (siehe Abb. 3.4). Die besten Resultate sollten sich bei einer Kombination von rotem und grünem Filter ergeben. Machen Sie aber sicherheitshalber auch eine Aufnahme mit dem Blaufilter. Falls sich bei der Auswertung herausstellen sollte, dass eine der Aufnahmen unbrauchbar ist, können Sie auf diese zurückgreifen und müssen die Beobachtung nicht erneut durchführen. **Wichtig:** Achten Sie auf ausreichend lange Belichtungszeiten für ein gutes Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Insbesondere im kurzwelligen Bereich bereitet Ihnen die geringe Blau-Empfindlichkeit des CCD-Chips

Sternhaufen	RA	Dec
NGC 2099	05 : 52 : 18	+32°33′12″
NGC 1960	05 : 36 : 18	+34°08′24″
NGC 6910	20 : 23 : 12	+40°46′42″
Tombaugh 5	03 : 47 : 48	+59°03′00″
IC 4996	20 : 16 : 30	+37°38′00″
NGC 663	01 : 46 : 09	+61°14′06″
Berkeley 62	01 : 01 : 00	+63°57′00″
NGC 7654	23 : 24 : 48	+61°35′36″
NGC 381	01 : 08 : 19	+61°35′00″

Tabelle 6.2: Mögliche Kandidaten für die Photometrie an einem offenen Sternhaufen

Probleme (siehe Kap. 3.4.2). Auf der anderen Seite ist es sehr wichtig, dass Sie die Aufnahmen nicht überbelichten, also den linearen Bereich des CCD-Chips nicht verlassen (siehe Kap. 6.2). Allerdings kann es sinnvoll sein, in Kauf zu nehmen, dass einzelne sehr helle Sterne überbelichtet sind, damit Sie eine große Anzahl schwacher Sterne in die Auswertung aufnehmen können. Die Statistik im Farben-Helligkeits-Diagramm wird durch eine große Zahl von weniger hellen Sternen dominiert.
Aufgrund der individuellen Eigenschaften des optischen Systems (Optik,CCD-Sensor,Filter) hat jede Beobachtungsserie zunächst ihr eigenes Farbsystem. Die im Filterrad der SBIG ST-8XME Kamera eingesetzten RGB-Filter unterscheiden sich z. B. von dem in der Photometrie sonst eingesetzten UBV-System von Johnson. Die Transformation zwischen diesen Systemen ist allerdings in sehr guter Näherung linear, so dass sich die gemessenen Helligkeiten mit Hilfe von Eichsternen mit bekannten Helligkeiten ins UBV-System überführen lassen (siehe Kap. 5.3.3).
Eine Auswahl möglicher Beobachtungskandidaten finden Sie in Tabelle 6.2. Ausführliche Informationen zu einer Vielzahl von offenen Sternhaufen gibt es unter

http://www.univie.ac.at/webda/complete_name.html

Hier erhalten Sie unter anderem Aufsuchkarten (cluster charts) aller in Tabelle 6.2 eingetragenen Objekte. Sie sind für die Identifizierung der Mitglieder des jeweiligen Sternhaufens notwendig (siehe Kap. 5.3.3).

D2: Lichtkurve eines veränderlichen Sterns

Als Alternative zu Praktikumsversuch D1 kann auch die Lichtkurve eines veränderlichen Sterns bestimmt werden. Klassen von pulsierenden Veränderlichen mit sehr kurzen Perioden von etwa 0,05 bis 1,2 Tagen sind die *RR-Lyrae-* und die *δ-Scuti*-Sterne, jeweils benannt nach ihren Prototypen.
Die Ableitung der Lichtkurve erfolgt mittels relativer Photometrie. Es werden – über mindestens eine ganze Periode verteilt – direkte Aufnahmen (im V-Band) des veränderlichen Sterns gemacht. Im gleichen Gesichtsfeld sollte sich mindestens ein (besser: zwei) konstanter Stern von ungefähr vergleichbarer Helligkeit befinden. Bei der Auswertung wird dann die Helligkeit des Veränderlichen stets relativ zum Vergleichsstern gemessen und durch die Auftragung dieses Helligkeitsunterschieds in Abhängigkeit von der Zeit die Lichtkurve dargestellt. Es sollten mindestens so viele Aufnahmen durchgeführt werden, dass die Lichtkurve aus ca. 50 bis 100 Datenpunkten zusammengesetzt werden kann.
Vor Einstellen der Belichtungszeit ist zu prüfen, dass der veränderliche Stern auf dem CCD nicht in den Sättigungsbereich gelangt. Vor Beginn der Aufnahme muss die automatische

Nachführung aktiviert sein, damit der Stern stets auf dieselbe Stelle der CCD-Kamera zu liegen kommt. Dies erleichtert die spätere Auswertung erheblich.
Zur Durchführung der Aufnahmeserie verwendet man zweckmäßigerweise die „Autograb"-Funktion, so dass ohne Unterbrechung die Aufnahmen in gleichem Zeitabstand durchgeführt werden können (das ist zwar nicht unbedingt notwendig, erleichert aber die spätere Auswertung ebenfalls).
Abgesehen von gelegentlichen Kontrollen, ob die Nachführung einwandfrei funktioniert und der Himmel klar bleibt, sowie der Nachstellung der Kuppel kann dann die gesamte Serie automatisch ablaufen. Man achte aber unbedingt darauf, dass das Teleskop während der Aufnahmeprozedur nirgendwo gegen stoßen kann. Vor den Aufnahmen oder nach Beendigung der Serie müssen Flatfields aufgenommen werden.

Name	RA (2000)	Dekl (2000)	Periode	Mag.	Typ
CC And	00 43 48.0	+42 16 56	3^h00^m	9.5-9.8 (p)	δSct
AD CMi	07 52 47.1	+01 35 51	2^h57^m	9.1-9.4 (V)	RR Lyr
SZ Lyn	08 09 35.8	+44 28 19	2^h54^m	9.1-9.6 (V)	RR Lyr
VZ Cnc	08 40 52.2	+09 49 28	4^h17^m	7.2-7.9 (V)	RR Lyr
EH Lib	14 58 55.9	-00 56 53	2^h07^m	9.5-10.0 (V)	RR Lyr
DH Peg	22 15 25	+06 49.2	6^h08^m	9.3-9.8 (V)	RR Lyr
CY Aqr	22 37 47	+01 32.1	1^h28^m	10.6-11.5 (B)	RR Lyr
BS Aqr	23 48 45.8	-08 08 44	4^h45^m	9.4-10.0 (B)	RR Lyr

Tabelle 6.3: Veränderliche Sterne

In Tabelle 6.3 sind einige geeignete veränderliche Sterne aufgeführt. Aufsuchekarten zur Verifikation, ob der gewünschte Veränderliche auch wirklich im Gesichtsfeld steht, befinden sich im Stahlschrank in der Kuppel. Mit diesen Karten kann auch der Ausschnitt so gewählt werden, dass genügend Vergleichssterne mit aufgenommen werden. Der CCD-Gesichtsfeldausschnitt ist durch das eingezeichnete Rechteck wiedergegeben (RC-Fokus). Bei der Auswahl eines geeigneten Veränderlichen orientiere man sich an Sternzeit und Rektaszension und vergewissere sich, dass der Stern während der gesamten folgenden Periode genügend hoch über dem Horizont steht.

Teil E: Aufnahme von Sternspektren

Vorbereitung: Kapitel 4 und 5.3.4
In diesem Versuch lernen Sie, Sterne anhand ihrer Spektren voneinander zu unterscheiden. Sie sollten sich daher mit den Grundlagen der Spektralklassifikation nach Morgan und Keenan (MK-Klassifikation) vertraut machen. Eine gute Informationsquelle finden Sie im Internet unter

http://nedwww.ipac.caltech.edu/level5/Gray/frames.html

Wesentlich für die MK-Klassifikation ist die Einteilung in Spektralklassen (Buchstaben O, B, A, F, G, K, M mit arabischen Ziffern) und Leuchtkraftklassen (römische Ziffern). Für die Unterscheidung der Spektralklassen ist es sinnvoll, einen möglichst großen Bereich des Spektrums zu erfassen und die darin auftretenden Absorptionslinien bestimmten Elementen zuzuordnen. Die Leuchtkraftklassen unterscheidet man hingegen anhand der Breite und Tiefe der Spektrallinien. Dafür ist eine höhere spektrale Auflösung notwendig.
Der im Praktikum verwendete SBIG Spektrograph besitzt dazu zwei Gitter mit unterschiedlicher Dispersion. Bei Aufnahmen in niedriger Dispersion sollten Sie das Spektrum etwa im Bereich zwischen 3600 Å bis 10000 Å abbilden. Warum? In hoher Dispersion können Sie

mit einer Aufnahme einen Wellenlängenbereich von etwa 1600 Å abbilden. Für diese Aufnahmen bieten sich unterschiedliche Bereiche an (z. B. $3600 - 5200$ Å, $4000 - 5600$ Å oder $5400 - 6000$ Å). Überlegen Sie sich vorher, welcher Bereich für Ihre Zwecke geeignet ist! Um den richtigen Bereich einzustellen benötigen Sie die Vergleichsspektren der Kalibrationslampe in den Abbildungen 4.3-4.8.
Zum Pflichtprogramm in diesem Teil des Praktikums gehören die folgenden Aufgaben:

- Spektroskopie von Sternen verschiedener Spektraltypen von O bis M in niedriger Dispersion,

- Spektroskopie von Sternen desselben Spektraltyps mit verschiedenen Leuchtkraftklassen von I bis V in hoher Dispersion,

- Spektroskopie von mindestens 3 Sternen mit unbekannter MK-Klassifikation in niedriger und hoher Dispersion; diese sollen Sie selbständig – anhand der von Ihnen gewonnenen Spektren – Spektraltypen und Leuchtkraftklassen zuordnen. Notieren Sie sich die vom NGC-MAX ausgegebenen Koordinaten, damit Sie Ihr Ergebnis später mit Literaturwerten vergleichen können!

Bei genügend klaren Nächten und entsprechendem Beobachtungsehrgeiz bieten sich noch Aufnahmen von Sternen mit pekuliaren Spektren (z. B. Wolf-Rayet-Sterne, Be-Sterne, Ap-Sterne, P Cyg, Kohlenstoff-Sterne, S-Sterne) oder Emissionslinienspektren von planetarischen Nebeln an. Eine umfangreiche Liste interessanter Sterne für die spektroskopische Aufgabe befindet sich im Stahlschrank in der Sternwartenkuppel.

Teil F: Spektralanalyse von BD+33°2642

Einleitung

In dieser Aufgabe soll das optische Spektrum eines Sterns analysiert und Elementhäufigkeiten bestimmt werden. Es handelt sich dabei um BD+33°2642, den Zentralstern eines Planetarischen Nebels. Dieser Zentralstern, wie auch der zugehörige Nebel, sind ungewöhnlich, da die schweren Elemente (jedenfalls zum Teil) weniger häufig sind als in der Sonne. Der Stern gehört damit zur metallarmen Halopopulation.
Aufgenommen wurde das optische Spektrum beim Deutsch-Spanischen Calar Alto Observatorium in Spanien, und zwar mit dem Cassegrain Twin Spectrograph am 3,5 m Teleskop. Zusammen mit anderen optischen und UV-Spektren wurden diese Beobachtungen analysiert von Napiwotzki, Heber, und Köppen (Astron. Astrophys. 292, 239, 1994). Diese Veröffentlichung steht als Postscript-File (napiwotzki.ps) zur Verfügung und kann mit ghostview angesehen oder auch ausgedruckt werden.
Zur Analyse stehen eine Reihe von Atmosphärenmodellen (von R. Kurucz, so genannte *Kurucz-Modelle*) zur Verfügung. Diese Modelle enthalten die Strukturdaten, d. h. im Wesentlichen den Verlauf von Temperatur, Druck, usw. mit der optischen Tiefe. Sie sind gerechnet mit solaren Elementhäufigkeiten sowie mit Werten der Effektivtemperatur von 18000 bis 26000 K und Schwerebeschleunigungen $\log g = 3{,}0 - 4{,}0$ Diese Werte überdecken in etwa den Bereich, in dem dieser Stern liegt. Nach Napiwotzki et al. (1994) ergibt sich für die Schwerebeschleunigung $\log g = 2{,}9$, also etwas außerhalb dieses Gitters, da Modelle mit geringerem $\log g$ bei uns zur Zeit nicht vorhanden sind. Es ist eine ausreichend gute Näherung, einfach das beste Modell aus dem verfügbaren Gitter zu nehmen.
Zu diesen Modellstrukturen kann mit dem Programm `synspec` von I. Hubeny ein detailliertes synthetisches Spektrum gerechnet werden, das viele Tausende von Spektrallinien

berücksichtigt. Oliver Rother (rother@physik.uni-kiel.de) hat ein Shell-Script `synplotb` geschrieben, das es erlaubt, nicht nur die Rechnungen einfach durchzuführen, sondern die Ergebnisse auch gleich am Bildschirm zu plotten, in druckfähigem Format zu speichern sowie interaktiv die Parameter zu ändern. Für diejenigen, die das zugrundeliegende Spektrumsyntheseprogramm näher studieren wollen, liegt eine Beschreibung des Programms `synspec` als `synspec.ps` vor.

Aufgaben in diesem Teil des Praktikums

1. Zur Einstimmung ist (mindestens) ein Blick in die Publikation von Napiwotzki et al. (1994) zu werfen. Diese Arbeit hat zum Teil anderes Beobachtungsmaterial und andere Methoden benutzt; es ist daher keineswegs sicher, dass Sie zu den genau gleichen Ergebnissen kommen, und sie sollten sich nicht zu sehr davon beeinflussen lassen. Aber natürlich stellen die publizierten Ergebnisse einen guten Ausgangspunkt für weitere Studien dar.

2. Das optische Spektrum ist zu plotten und zu studieren.

3. Aus den vorhandenen Kurucz-Modellen das am besten passende auswählen. Dies geschieht am besten durch Anpassung der Balmerlinien Hγ, Hβ, Hδ mit theoretischen Spektren. Dabei muss natürlich vor einem Vergleich das synthetische Spektrum mit dem Instrumentenprofil (Gaußfunktion, FWHM = 0,5 Å) gefaltet werden. Unter Umständen muss auch eine Wellenlängenverschiebung zwischen Beobachtung und Theorie (z. B. wegen einer Radialgeschwindigkeit des Sterns, oder wegen ungenügender Wellenlängenkalibrierung) ausgeglichen werden.

4. Wenn das beste Modell auf diesem Wege gefunden wurde, können Elementhäufigkeiten bestimmt werden. Dazu wählt man einen geeigneten Spektralbereich, in dem stärkere Linien eines bestimmten Elements vorkommen, und vergleicht das beobachtete Linienprofil mit der theoretischen Rechnung. Da unsere Ausgangsrechnungen mit solarer Häufigkeit gemacht werden, wird sich in vielen Fällen herausstellen, dass die theoretische Linie zu stark ist. Dann kann die Häufigkeit relativ zur solaren verringert werden, bis ein guter Fit für die Linie erreicht ist. Es sollten möglichst mehrere Linien pro Element benutzt werden und mindestens die Elemente He, C, O, Mg und Si untersucht werden. Jede Linie ist für das betreffende Element bestmöglich anzupassen. Es ergeben sich dann unterschiedliche Häufigkeiten für dasselbe Element. Daraus ist ein Mittelwert mit entsprechendem Fehler zu berechnen.

Vorbereitungen

Zunächst muss das Shell-Script `synplotb` in einem Terminalfenster unter X-Windows durch Eingabe von

```
supas003@ganymed:~> synplotb
```

gestartet werden. Das Script fragt nach dem Semester, in dem das Praktikum durchgeführt wird. Geben Sie das Semester nach dem vorgegebenen Muster (z. B. SS06). Geben Sie nun den Buchstaben Ihrer Gruppe ein, z. B. A, B, oder C. Nun wird vom Script das Arbeitsverzeichnis angezeigt. Bitte merken Sie sich diesen Pfad, Sie finden dort später Ihre Spektren als Postscript-Dateien wieder (Endung .ps).
Sie werden nun zur Auswahl eines Kurucz-Modells aufgefordert, die verfügbaren Modelle werden in Form von .dat-Files angezegt. Hierbei bedeutet die Zahl hinter dem t die Effektivtemperatur, die Zahl hinter g ist $10 \log g$, also die Schwerebeschleunigung. Sie können

das vorgeschlagene Modell durch Drücken auf ENTER übernehmen oder ein anderes an der Eingabeaufforderung eingeben. Hierbei steht Ihnen auch die BASH-typische Funktion der TAB-Taste für die Vervollständigung von Dateinamen und Befehlen zur Verfügung.
Als Nächstes fragt das Programm nach der Anfangs- und Endwellenlänge des zu plottenden Intervalls in Ångström, nach der Halbwertsbreite (FWHM), mit der das synthetische Spektrum mit dem Instrumentenprofil gefaltet werden soll, sowie nach einer Radialgeschwindigkeit in km/s, um die das synthetische Spektrum verschoben werden soll. 5 km/s ergeben hier einen besseren Fit bei Hγ; in anderen Bereichen können leicht unterschiedliche Werte notwendig sein – ausprobieren.
Die turbulence velocity (VTURB) gibt die Mikroturbulenz in km/s an. Dieser Wert wurde aus der Analyse von Napiwotzki et al. (1994) übernommen und sollte nicht verändert werden, da die Mikroturbulenz Form und Stärke der Linien beeinflußt (und zwar unterschiedlich für verschiedene Linien des gleichen Elements).
Es folgt nun die Abfrage des Parameters IMODE. Bei IMODE=2 berechnet das Script nur das Kontinuum und die Wasserstofflinien, aber keine anderen Linien. Dies ist die Mode für die Bestimmung der Atmosphärenparameter durch Anpassung der Wasserstofflinien.
Schließlich können noch die chemischen Häufigkeiten einzelner Elemente relativ zur solaren Häufigkeit angegeben werden. Ein Wert von 1 entspricht dabei der solaren Häufigkeit, bei z. B. 1.2 ist die Häufigkeit des Elementes gegenüber der Sonne um 20 % erhöht. Will man die Eingabe von Elementhäufigkeiten beenden, so ist statt der Ordnungszahl eines Elementes nur ENTER einzugeben.
Nun startet das Script mit seiner eigentlichen Aufgabe, dem Berechnen eines synthetischen Spektrums. Sobald der Durchlauf komplett ist, öffnet sich ein GNUPLOT-Fenster, in dem gemessenes und synthetisches Spektrum übereinander geplottet sind. Hierbei lassen sich die Positionen der Spektrallinien und deren Intensitäten unten links im Fenster leicht ablesen, wenn man mit dem Mauszeiger über den Plot fährt.
Das GNUPLOT-Fenster kann zum Vergleich mit weiteren Plots offen bleiben. Das Script fragt jetzt, ob der aktuelle Plot gespeichert werden soll und fragt bei Bejahung nach einem Dateinamen. Bitte verwenden Sie hierbei keine Leerzeichen oder Sonderzeichen, nur die Buchstaben des Alphabets, ohne Umlaute.
Sie können das Script nun von vorne beginnen lassen (y). Hierbei merkt sich das Script Ihre bereits eingebenen Parameter und bietet Ihnen diese als Vorgaben an. Ein Beenden und Neustarten des Scriptes setzt diese Einstellungen auf die in der Datei `default_parameter` im Arbeitsverzeichnis vorgenommenen zurück.
Wählen Sie nun weitere Bereiche des Spektrums aus und studieren Sie es. Das Spektrum liegt übrigens in normierter Form vor, d. h. es ist dividiert durch einen glatten Fit an die Bereiche, in denen keine Spektrallinien liegen. Das „Kontinuum“ ist damit zu 1.0 gesetzt.

Bestimmung des geeigneten Modells

Die Betrachtung des Ergebnisses wird zeigen, dass Hγ im Modell viel zu stark ist. Eine Erhöhung der Effektivtemperatur macht die Linie schwächer, ein höheres log g macht sie vor allem breiter. Versuchen Sie, das beste Modell zu finden, und benutzen Sie dabei auch Hβ und Hδ.

Elementhäufigkeiten

Studieren Sie die Napiwotzki-Arbeit, um Anhaltspunkte zu finden, wo stärkere Linien der verschiedenen Elemente im Bereich unseres Spektrums (4000–5000 Å) zu erwarten sind. Wenn Sie einen geeigneten Bereich gefunden haben, kann ein Spektrum mit Linien – zunächst

mit solaren Häufigkeiten – berechnet werden. Für die CII Linien bei 4267 Å könnte das so aussehen:

```
Choose an atmosphere model (t..... = TEFF/K, g.. = 10 log g).

ap00t11000g40k2.dat  ap00t18000g40k2.dat  ap00t21000g35k2.dat  ap00t24000g35k2.dat
ap00t12000g35k2.dat  ap00t19000g25k2.dat  ap00t21000g40k2.dat  ap00t24000g40k2.dat
ap00t12000g40k2.dat  ap00t19000g30k2.dat  ap00t22000g30k2.dat  ap00t25000g30k2.dat
ap00t13000g35k2.dat  ap00t19000g35k2.dat  ap00t22000g35k2.dat  ap00t25000g35k2.dat
ap00t13000g40k2.dat  ap00t19000g40k2.dat  ap00t22000g40k2.dat  ap00t25000g40k2.dat
ap00t13000g50k2.dat  ap00t20000g30k2.dat  ap00t23000g30k2.dat  ap00t26000g30k2.dat
ap00t18000g25k2.dat  ap00t20000g35k2.dat  ap00t23000g35k2.dat  ap00t26000g35k2.dat
ap00t18000g30k2.dat  ap00t20000g40k2.dat  ap00t23000g40k2.dat  ap00t26000g40k2.dat
ap00t18000g35k2.dat  ap00t21000g30k2.dat  ap00t24000g30k2.dat

Use (TAB) for command line completion
or press (Enter) to use ap00t18000g30k2.dat: ap00t19000g35k2.dat


Start wavelength 4041.360-5017.770 [A] - press (Enter) to keep (4300): 4266
End wavelength   4041.360-5017.770 [A] - press (Enter) to keep (4400): 4269

FWHM (0.5):

Radial velocity (RV) of synthetic spectrum [km/s] (5): 11

Turbulence velocity (VTURB) [km/s] (15):

IMODE. 0: normal mode, 2: only hydrogen and contiunuum (0):


You may change the chemical abundances.
These are the current settings:

Model abundances match solar abundances, no deviations specified.

Press (c) to change or (Enter) to use them:


Please wait...

Calculation of synthetic spectrum succeeded using the following parameters:

BASEMODEL:   m25lt.5
KURUCZMODEL: ap00t19000g35k2.dat
OBSERV:      bd_33
FWHM:        0.5
IMODE:       0
RV:          11
VTURB:       15
STARTWAVE:   4266
```

```
ENDWAVE:     4269

Save plot as .ps-file (y/n)?:
```

Hier wird angenommen, dass $T_{\rm eff} = 19000\,{\rm K}$ und $\log g = 3{,}5$ die Parameter des besten Modells sind (was vermutlich nicht der Fall ist). Probieren Sie daher auch andere Modelle. Falls die CII-Linien trotz Benutzung des am besten passenden Modells immer noch zu stark sind, liegt das daran, dass die Kohlenstoffhäufigkeit geringer als solar ist. Sie können für die Berechnung des synthetischen Spektrums die Häufigkeit herabsetzen. Lassen Sie hierzu das Programm erneut durchlaufen (ohne es zu beenden) und ändern Sie die chemischen Häufigkeiten, z. B. so:

```
You may change the chemical abundances.
These are the current settings:

Model abundances match solar abundances, no deviations specified.

Press (c) to change or (Enter) to use them: c

Atomic number of element to change (just press (Enter) to end changes): 6
Relative solar abundancy for Element 6 - leave empty for solar abundancy): 0.04

Atomic number of element to change (just press (Enter) to end changes):

The following relative solar abundances will be used:

ABUND[6]:    0.04

Press (c) to change or (Enter) to use them:


Please wait...
```

Die berechnete CII-Linie zeigt einen asymmetrischen Flügel zu längeren Wellenlängen, der durch eine Schwefellinie verursacht wird, die ohne explizite Festsetzung der Schwefelhäufigkeit für solare Häufigkeit berechnet wird. Da dieser asymmetrische Flügel in der Beobachtung nicht zu sehen ist, muss die Schwefelhäufigkeit offenbar geringer sein. Eine erste Einschätzung kann mit

```
You may change the chemical abundances.
These are the current settings:

Atomic number of element: 6
Relative solar abundancy: 0.04

Press (c) to change or (Enter) to use them: c

Atomic number of element to change (just press (Enter) to end changes): 16
Relative solar abundancy for Element 16 - leave empty for solar abundancy): 0.1

Atomic number of element to change (just press (Enter) to end changes):
```

```
The following relative solar abundances will be used:

ABUND[6]:    0.04
ABUND[16]:    0.1

Press (c) to change or (Enter) to use them:


Please wait...
```

vorgenommen werden. Ähnliche Effekte können auch bei anderen Linien und Elementen auftreten.

Schluss

Auf die oben beschriebene Weise finden Sie bitte – möglichst nicht nur mit einer Linie – die Häufigkeiten von He, C, N, O, Mg, Si. Am besten bestimmt man zuerst die Häufigkeiten von O und N, da Heliumlinien oft sehr dicht bei Sauerstofflinien liegen, so dass die Sauerstoffhäufigkeit bekannt sein sollte, bevor die Heliumhäufigkeit bestimmt wird. Im idealen Fall finden Sie für jede Linie eine Elementhäufigkeit, die sowohl die Form als auch die Stärke der Linie wiedergibt. Es kann aber auch vorkommen, dass die beobachtete Linienform nicht gut durch eine theoretisch berechnete Linie beschrieben wird (z. B. bei Mängeln in den Verbreiterungsparametern). Dann sollten Sie versuchen, nicht die Einsenktiefe, sondern die *Äquivalentbreite* der Linie möglichst gut anzupassen.
Halten Sie die Ergebnisse in Ihrem Protokoll fest. Wenn Sie die Plots als Postscript-Dateien gespeichert haben, können Sie diese in Ihr Protokoll einbinden. Zusammen mit der .ps-Datei wird jeweils eine .txt-Datei mit gleichem Namen gespeichert, welche die jeweils verwendeten Parameter enthält. Vergleichen Sie die Elementhäufigkeiten mit denen von Napiwotzki et al.

Anhang A

Häufige Fehler

- **Schwarzes oder dunkles Bild**
  - Abdeckkappen abgenommen?
  - Fangspiegelabdeckung entfernt?
  - Kuppelspalt richtig eingestellt?
  - Filter auf Okulare aufgeschraubt?
- **Fokussierung**
  - Falscher Zwischenring eingeschraubt?
  - evtl. kann es zu Schwingungen am Cassegrain-Fokus kommen, die die Fokussierung erschweren
- **NGC-MAX**
  - Kabel und Stecker korrekt befestigt?
  - Teleskop stand bei Initialisierung auf falscher Seite (nicht auf Tischseite im Westen).
  - Bei Initialisierung falschen Leitstern eingestellt.
  - Leitstern war bei Initialisierung nicht östlich des Meridians.
  - Teleskop zu schnell bewegt.
  - Im Zweifelsfall neu initialisieren.
  - Falls NGC-MAX nicht auf Teleskopbewegungen reagiert, überprüfen, ob Netzteil auf 9V steht.
- **Nachführung**
  - Eingeschaltet?
  - Handrad für Rektaszension zu locker? Anziehen, aber nicht zu fest!
- **Deklinationsbewegung**
  - Spindel am Anschlag?
- **Telrad-Finder**
  - Akku leer?
- **CCD-Kamera**

  - Kabel richtig verbunden?
  - Richtiger Zwischenring eingeschraubt?

- **CCD-Bilder lassen sich nicht mehr in CCD-OPS laden**
  - CCD-Dateien beim Speichern mit FITS-Dateien überschrieben? Beim Speichern als FITS-Dateien immer die Dateiendung .FIT angeben! Ohne explizite Angabe werden die Bilder stets mit der Dateiendung .ST8 abgespeichert.

- **Aufsatz für den Spektrographen geht nicht mehr ab**
  - Aufsatz wurde zu fest gedreht (siehe 4.2)
  - Assistenten/HiWi Bescheid sagen

Anhang B

Spezielle Beobachtungsmethoden

B.1 Manuelle Nachführung mit Hilfe des Leitfernrohrs

In der Regel wird für die Nachführung von langbelichteten CCD-Aufnahmen die Selfguide-Funktion der CCD-Kamera (siehe Kap 3.3.5) verwendet. Die folgenden Ausführungen sind nur für den Fall, dass diese Art der automatischen Nachführung unmöglich ist, weil z. B. kein geeigneter Leitstern zur Verfügung steht.
Beim Gebrauch als Nachführfernrohr wird die Brennweite durch eine Barlow-Linse auf 1800 mm verdreifacht, um mit dem Leitfernrohr eine stärkere Vergrößerung zu erzielen. Außerdem sollte das beleuchtete Fadenkreuzokular eingesetzt werden. Normalerweise sollte das Leitrohr möglichst exakt parallel zum Hauptrohr stehen. Es kann allerdings bei der Nachführung von Aufnahmen in sternarmen Himmelsgegenden nötig sein, das Leitfernrohr aus dieser parallelen Ausrichtung zu verstellen, um einen geeigneten Leitstern in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bekommen. Dazu müssen Sie die Handschrauben, mit denen das Leitfernrohr in der Aufhängung festgemacht ist, wie in Kapitel 2.4 beschrieben lösen und das Leitfernrohr aus seiner parallelen Stellung herauskippen. **Nach den Aufnahmen ist es wieder parallel zum Hauptrohr zu justieren!**
Bei der visuellen Nachführung erlaubt es die Feinheit des Fadenkreuzes, das fokussierte Sternbildchen bogensekundengenau hinter dem Faden zu halten. Die Nachführgenauigkeit beträgt bei etwas Übung etwa 3". Eine ausreichende Nachführgenauigkeit ist gegeben, wenn man das Sternbildchen jeweils die Fäden auf beiden Seiten berühren lässt.
Der beiliegende Zwischenring ist ggf. anstelle der Barlow-Linse einzuschrauben. Die Beobachtung ist jedoch nur ohne Zenitprisma möglich. Bei Verwendung der Barlow-Linse ist das Leitrohr nicht zur Beobachtung der Planeten geeignet. Die Barlow-Linse ist in Verbindung mit dem kurzbrennweitigen Objektiv eine Kompromisslösung, da die Farbfehler des Objektivs mitvergrößert werden. Für die Benutzung als Nachführfernrohr ist die Qualität des Bildes völlig ausreichend. Nach Gebrauch als Nachführfernrohr die **Barlow-Linse wieder herausschrauben!**

Anhang C

Literatur

- **Instrumente, Beobachtungstechniken**
  - *D.S. Birney,* Observational Astronomy, Cambridge Univ. Press, 1991
  - *C.R. Kitchin,* Astrophysical Techniques, A. Hilger, 1984
  - *C.R. Kitchin,* Optical Astronomical Spectroscopy, Inst, of Physics Publ., 1995
  - *D. Ratledge* (ed.), The Art and Science of CCD Astronomy, Springer, 1997
- **Himmelsobjekte, Sternkarten**
  - *R. Burnham jr.,* Burnham's Celestial Handbook, Dover, 1979
  - *J. Herrmann,* Drehbare Sternkarte mit Planetenzeiger, Franckh-Kosmos-Verlag
  - *E. Karkoschka,* Atlas für Himmelsbeobachter, Franckh-Kosmos-Verlag, 2. Aufl., 1989
  - *W. Tirion,* Sky Atlas 2000.0, Sky Publishing, 1981
  - *W. Tirion, B. Rappaport, G. Lovi,* Uranometria 2000.0, Vol. 1+2, Willmann-Bell, 1987/1988
- **Jahrbücher**
  - *H.-U. Keller,* Das Kosmos-Himmelsjahr, Franckh-Kosmos-Verlag
  - *T. Neckel, O. Montenbruck,* Ahnerts Astronomisches Jahrbuch, Hüthig
  - Monatliche Übersichten in den Zeitschriften *Sterne und Weltraum* und *Sky and Telescope*
- **Allgemein**
  - *A. Unsöld, B. Baschek,* Der neue Kosmos, Springer, 7. Aufl.,2002
  - *H.H. Voigt,* Abriß der Astronomie, BI Wissenschaftsverlag, 5. Aufl., 1991